Gemeinsamer Schlussbericht

zum Verbundprojekt

„Innovative stapelsichere geotextile Container“

Gefördert durch das
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Projektträgerschaft Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Bonn

Teilvorhaben 1 (Förderkennzeichen 01 RI 05251):
Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.
an der Technischen Universität Chemnitz

Teilvorhaben 2 (Förderkennzeichen 01 RI 05252):
Universität Kassel, Fachgebiet Geotechnik

Teilvorhaben 3 (Förderkennzeichen 01 RI 05253):
WITTFELD GmbH

Teilvorhaben 4 (Förderkennzeichen 01 RI 05254):
NAUE GmbH & Co. KG

Teilvorhaben 5 (Förderkennzeichen 01 RI 05255):
Heinrich Hirdes GmbH

Teilvorhaben 6 (Förderkennzeichen **01 RI 05256)**:
E&M Eichler und Meurers Industrietechnik GmbH

Teilvorhaben 7 (Förderkennzeichen **01 RI 05257)**:
Flexitex GmbH

Teilvorhaben 8 (Förderkennzeichen **01 RI 05258)**:
Colcrete- von Essen GmbH&Co KG

Chemnitz, im November 2009

Partner des Verbundprojekts

Teilvorhaben 1, Projektkoordination	**Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.** (STFI) an der Technischen Universität Chemnitz Postfach: 13 25 09072 Chemnitz Tel. 0371 5274 0 Fax 0371 5274 151 E-Mail: stfi@tcc-chemnitz.de
Teilvorhaben 2	**Universität Kassel, Fachgebiet Geotechnik** Mönchebergstr. 7 34125 Kassel Tel. 05 61 - 804 – 26 30 Fax 05 61 - 804 – 26 51 E-Mail: geotech@uni-kassel.de
Teilvorhaben 3	**Wittfeld GmbH** Hansastraße 83 – 49134 Wallenhorst Tel.: +49 5407 5010 Fax : +49 5407 501 239 E-Mail: info@wittfeld.eiffage.de
Teilvorhaben 4:	**NAUE GmbH & Co. KG** Gewerbestraße 2 32339 Espelkamp-Fiestel Tel.: 0 57 43 / 41 - 0 Fax: 0 57 43 / 41 - 240 E-Mail: info@naue.com
Teilvorhaben 5:	**HEINRICH HIRDES GmbH**. Alter Hafen Nord 210 18069 Rostock Tel.: +49 (0)381-811 28 00 Fax: +49 (0)381-811 28 19 E-Mail: hh.rostock@heinrichhirdes.de
Teilvorhaben 6:	**E&M Eichler und Meurers Industrietechnik GmbH** Berbisdorfer Str. 113 09123 Chemnitz, Germany Tel.:037 209 69 292 Fax: 037 209 69 293 E-Mail: mail@em-industrie.de
Teilvorhaben 7:	**Flexitex GmbH** Kleinolbersdorfer Str. 5a 09573 Augustusburg Tel 037 291 – 20 234 Fax 037 291 – 20 235 E-Mail: info@flexitex.de
Teilvorhaben 8	**Colcrete-von Essen GmbH & Co. KG** Spezial-Wasserbau und Küstenschutz Am Waldrand 9c 26180 Rastede Tel. (+49) 4402 – 97 87 0 Fax (+49) 4402 – 97 94 8 E-Mail: info@colcrete-von-essen.de

Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Verbund-Forschungsvorhabens Nr. 01 RI 05251 bis 01 RI 05251.

Darüber hinaus gilt unser Dank dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Bonn, für die Hilfe und Unterstützung während der Projektbearbeitung.

Weiterhin gilt unser Dank den Firmen

KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH

Gottlieb Binder GmbH&Co KG, Holzgerlingen

Kirson Industrial Reinforcements GmbH, Neustadt / Donau

A.H. Meyer, Twistringen

Wasser- und Schifffahrtsverwaltung Blexen/Nordenham

Wasser- und Schifffahrtsamt Stralsund

Universität Rostock, Institut für Umweltingenieurwesen, Lehrstuhl für Landeskulturelle Ingenieurbauwerke

Max Süß GmbH, Sehmatal OT Cranzahl

Stadtmission Chemnitz e.V. PARTNER-Werkstatt für behinderte Menschen-09217 Burgstädt

die unsere Arbeiten mit Material, technischen Ausrüstungen und Beratungsleistungen unterstützten.

Chemnitz, im November 2009

Inhaltsverzeichnis

Bildverzeichnis 3
Tabellenverzeichnis 8
Anlagenverzeichnis 10

1 Einführung 11
1.1 Beschreibung des Projektes, der Aufgaben und Ziele 11
1.2 Zusammenarbeit 12
1.3 Voraussetzungen 13
1.4 Planung und Ablauf der Untersuchungen 17
1.5 Wissenschaftlicher und technischer Stand 18

2 Wissenschaflich-technische Ergebnisse 24
2.1 Untersuchungen zu detaillierten Anforderungsprofilen an den textilen Verbundstoff und die Container nach Anwendungsgebiet 24
2.1.1 Geokunststoffe im Wasserbau und in der Geotechnik – Allgemeines 24
2.1.2 Filterwirksamkeit der Geotextilien 26
2.1.3 Stabilität von geotextilen Sandcontainern (Wasserbau) 28
2.1.4 Vorbetrachtungen zu den technischen Anforderungen 29
2.2 Entwicklung hochfester textiler Strukturen mit Kletteigenschaften 30
2.2.1 Versuche zur Vliesstoffentwicklung 30
2.2.2. Entwicklung von Verbundstrukturen mit Kletteigenschaften (Maschentechnologien) 44
2.2.2.1 Untersuchungen zur Herstellung der Klettfäden / -bändchen 44
2.2.2.2 Vliesstoffverbunde unter Nutzung der Wirktechnologie (Vliesraschelmaschine RS3 MSUS-V) 48
2.2.2.3 Vliesstoffverbunde nach der Nähwirktechnologie 54
2.2.2.4 Angaben zu ausgewählten Prüfungen 57
2.2.3 Rundwebverfahren 60
2.2.3.1 Ausgangssituation und Voruntersuchungen 60
2.2.3.2 Versuchsdurchführung 61
2.2.3.3 Versuchsergebnisse 68
2.3 Entwicklung einer Zuschnitt- und Konfektionstechnologie für die stapelfähigen geotextilen Container 71
2.3.1 Allgemeines 71
2.3.2 Organisation der Abläufe 71
2.3.3 Versuchsdurchführung 72
2.3.4 Prüfung der Nahteigenschaften 77
2.3.5 Optimierungsarbeiten 79

2.4 Theoretische, experimentelle und numerische Untersuchungen zum Tragverhalten von geotextilen Containern 80
2.4.1 Allgemeines 80
2.4.2 Grundlagen zum Tragverhalten von Containern 80
2.4.3 Untersuchungen zum Verhalten der Container im Verbund 83
2.4.3.1 Allgemeines 83
2.4.3.2 Scherversuche 84
2.4.3.2.1 Allgemeines 84
2.4.3.2.2 Wirksamkeit des Klettstreifens 86
2.4.3.2.3 Einfluss unterschiedlicher Vliese und Gewebe 87
2.4.3.2.4 Einfluss unterschiedlicher Klettstreifentypen 88
2.4.3.2.5 Einfluss von Verunreinigung und Sättigung 93
2.4.3.2.6 Ableitung von Adhäsionsparametern 95
2.4.3.2.7 Wiederholungsversuche 98
2.4.3.2.8 Großrahmenscherversuche zur Bestimmung des Klettstreifenabstands 99
2.4.3.2.9 Zusammenfassung 101
2.4.3.3 Nachbildung einer Stützkonstruktion 102
2.4.3.3.1 Zielsetzung 102
2.4.3.3.2 Versuchsaufbau der Stützkonstruktion 102
2.4.3.3.3 Messungen während der Versuchsdurchführung 105
2.4.3.3.4 Darstellung der Versuchsergebnisse und Auswertung 106
2.4.3.4 Numerische Untersuchung 113
2.4.3.4.1 Zielsetzung 113
2.4.3.4.2 Berechnungsmodell 113

2.5 Praktische Anwendungsuntersuchungen 122
2.5.1 Zielsetzung und Allgemeines 122
2.5.2 Anwendung im Binnenwasserbau 122
2.5.2.1 Versuchsdurchführung 122
2.5.2.2 Auswertung und Erkenntnisse 127
2.5.3 Anwendung im Küstenschutz 128
2.5.3.1 Versuchsdurchführung 128
2.5.3.2 Auswertung und Erkenntnisse 137
2.5.4 Anwendung im Erdbau 137
2.5.4.1 Versuchsdurchführung 137
2.5.4.2 Auswertung und Erkenntnisse 143
2.5.5 Zusammenfassung der Feldversuche 144

3 Auswertung und Zusammenfassung 145

4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse 151

5 Während der Durchführung bekannt gewordene Fortschritte 151

6 Veröffentlichungen 152

Literaturverzeichnis 153

Anlagen

Verzeichnis der Bilder

Bild 1.1: Partner und unterstützende Firmen in Deutschland

Bild 1.2: Vorübergehende Kolk-Reparatur unter Verwendung eines geotextilen Containers

Bild 1.3: Klappschute mit Geotextilcontainer ([5])

Bild 1.4: Einbau eines Terrafix Soft Rock® Wellenbrechers mit einer Klappschute ([6])

Bild 1.5: Querwerk zur Beeinflussung der Strömungsverhältnisse aus Terrafix Soft

Bild 1.6: Kolkschutz an Bauwerken mit Terrafix Soft Rock® (Naue, [6])

Bild 1.7: Geoschlauch nach der Verfüllung mit schadstoffhaltigem Material ([19])

Bild 1.8: Geosynthetischer Schlauch als Flüssigkeitstank (Foto: BRADLEY, [2])

Bild 1.9: Einbau von Geokunststoffummantelten Säulen

Bild 2.2.1.1: Schematische Darstellung der mechanischen Vliesbildung, Faservorbereitung durch Mischen und Öffnen (Bsp. Fa. Trützschler)

Bild 2.2.1.2: Schematische Darstellung der mechanischen Vliesbildung: Krempel (Bsp. Fa. Spinnbau)

Bild 2.2.1.3: Schematische Darstellung der mechanischen Vliesbildung, Kardierprinzip

Bild 2.2.1.4: Mechanische Vliesbildung, Kardierprinzip, Faserübergabe

Bild 2.2.1.5: Schematische Darstellung der mechanischen Vliesverfestigung, Vernadelungsverfahren

Bild 2.2.1.6: Prinzip der mechanische Vliesverfestigung: Vernadelungsverfahren – feste Oberfläche

Bild 2.2.1.7: Prinzip der mechanischen Vliesverfestigung: Vernadelungsverfahren – flauschige Oberfläche

Bild 2.2.1.8: Vernadelungszone, (Bsp. Maschine Fa. Dilo)

Bild 2.2.2.1: Muster Microplast®-Folie

Bild 2.2.2.2: Klettband UM 866, Material Polypropylen (Velcro)

Bild 2.2.2.3: Versuchsstand Schneideinrichtung zum Schneiden von Microplast®-Klettfolie

Bild 2.2.4: Variante der Schneideinrichtung zum Schneiden der Microplast®-Klettfoliebändchen (zur Verkettung mit der Textilmaschine geeignet)

Bild 2.2.5: Schneiden der Microplast®-Klettfolie aus einer breiten Bahn Aufwicklung der Streifen auf Scheibenspule

Bild 2.2.6: Aufwicklung der Streifen auf Scheibenspule

Bild 2.2.7: Versuchseinrichtungen im STFI e.V., Raschelmaschine mit Magazinschusseintrag zur Herstellung von Vliesverbundstoffen RS3 MSUS-V, Fa. KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH

Bild 2.2.8: Vorversuche auf der Vliesraschelmaschine RS3 MSUS-V, Kombination aus Vliesstoff, Klettbändchen und Gitter (Längs- und Querfäden)

Bild 2.2.9: Vorlage des Vliesstoffes
Bild 2.2.10: Zuführung der Klettfäden
Bild 2.2.11: Abbremsung der Klettfäden
Bild 2.2.12: Verbundgewirke (Vliesstoff mit eingearbeiteten Klettfäden)
Bild 2.2.13: Versuch zum Schutz gegen unerwünschtes Verkletten durch Folielagen
Bild 2.2.14: Zuführung der Klettbändchen
Bild 2.2.15: Versuchsstand Spezialwirkmaschine
Bild 2.2.16: Spezialnadeln
Bild 2.2.17: Aufwölben des Vliesstoffes beim Durchstechen der Nadel
Bild 2.2.18: Versuchsstand Nähwirktechnik, Malimo-Maschine Typ 1410
Bild 2.2.19: Zuführung der Klettbändchen
Bild 2.2.20: Schneiden der Klettbändchen
Bild 2.2.21: Verarbeitungsversuch, Aufbringen der Klettbändchen
Bild 2.2.22: Variante für die Führung der Fäden in der Wirkzone
Bild 2.2.23: Materialvorlage Vliesstoffrolle
Bild 2.2.24: Muster des Verbundes
Bild 2.2.25: Kraft-Dehnungs-Prüfung des Verbundes
Bild 2.2.26: Prüfung der Höchstzugkraft und -dehnung (längs und quer) des Verbundes Vliesstoff / Microplast®-Klettfoliestreifen
Bild 2.2.27: Ergebnisse der Kraft-Dehnungs-Prüfung der Vliesstoffe mit und ohne Klettstreifen
Bild 2.2.28: Zugversuch Microplast®-Streifen
Bild 2.2.29: Veränderung der Klettoberfläche von Microplast®-Streifen bei Dehnung
Bild 2.2.33: Rundwebmaschine KCL 4085/2, Versuchstand
Bild 2.2.34: Tänzer
Bild 2.2.35: Fadenkamm im Gatter
Bild 2.2.36: Gerades Webblatt mit vergrößertem Abstand der Lamellen
Bild 2.2.37: Weblitzen mit unterschiedlichen Maillons
Bild 2.2.38: Fadeneinleger mit verschiedenen Fadenaugen
Bild 2.2.39: Webschütz mit eingelegter Vliesstoffspule und mit Vulkollan beschichteten Schützenrädern
Bild 2.2.40: Schussspulen mit verschiedenen Vliesstoffbändchen
Bild 2.2.41: Mustergewebe Versuch 1
Bild 2.2.42: Mustergewebe Versuch 2
Bild 2.2.43: Mustergewebe Versuch 3
Bild 2.2.44: Mustergewebe Versuch 5

Bild 2.2.45: Konfektionierte Säcke aus Schlauchgewebemuster nach Versuch 3

Bild 2.2.46: Kraft-Dehnungs-Verhalten Gewebemuster 3 und 3V (durchgehende Kurve) in Kettrichtung

Bild 2.2.47: Kraft-Dehnungs-Verhalten Gewebemuster 3 / 3V in Schussrichtung

Bild 2.3.1: Umgebautes Kreismesser mit Abschaltvorrichtung auf dem neuen Zuschneidetisch, Ein-Mann-Betrieb

Bild 2.3.2: Ein-Hand-Kettenstichmaschine

Bild 2.3.3: Zwei-Nadel-Nähmaschine Juki

Bild 2.3.4: Umgebaute Überwendlich-Nähmaschine

Bild 2.3.5: Handnähmaschine Beta- F

Bild 2.3.6: Überwendlichnaht mit Amann-Garn

Bild 2.3.7: Überwendlichnaht, Strobel-Nähmaschine

Bild 2.3.8: Überwendlichnaht der 8520 mit Gripolene-Polypropylen

Bild 2.3.9: Kettenstichnaht mit Ein-Hand-Nähmaschine

Bild 2.3.10: Lagerung mit Zwischenlagen aus Seidenpapier

Bild 2.3.11: Schematische Anordnung der Klettfäden (ideale Quaderform)

Bild 2.3.12: Containerform mit 1 Seitennaht und 2 Quernähten (idealisiert)

Bild 2.3.13: Containerkonstruktion mit Mittelnaht

Bild 2.3.14: Prüflinge zur Bestimmung der Nahtfestigkeit in Querrichtung

Bild 2.3.15: Prüflinge zur Bestimmung der Nahtfestigkeit nach Erreichen der Höchstzugkraft

Bild 2.3.16: Ergebnisse der Nahtzugfestigkeitsprüfungen

Bild 2.4.1: Überlappung und Anpassungsfähigkeit der Container in Abhängigkeit des Füllgrades nach Oumeraci et al. (2002)

Bild 2.4.2: Prinzip eines Rahmenscherversuches

Bild 2.4.3: Darstellung und Bezeichnung der verwendeten Vliese und Gewebe

Bild 2.4.4: Darstellung und Bezeichnung der verwendeten Klettstreifen

Bild 2.4.5: Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für ausgewählte Klettstreifentypen zur Demonstration der Wirksamkeit

Bild 2.4.6: a) Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für unterschiedliche Vliese; b) Ausgerissene Fasern am flauschigen Vlies

Bild 2.4.7: Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für Gewebe

Bild 2.4.8: Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für die Klettstreifentypen 1 bis 3 und 6

Bild 2.4.9: Während der Schervorgänge in Nahtlängsrichtung gerissener Klettstreifentyp 3; wie in Bild 2.4.9a unterhalb des Klettstreifens ersichtlich sind die Nähte intakt

Bild 2.4.10: a) Scherspannungs-Scherweg-Diagramme für die Klettstreifentypen 4 und 5; b) Gerissene Nähte während des Abschervorgangs bei Klettstreifentyp 4

Bild 2.4.11: Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für Vlies mit Gelege zum Verhaken

Bild 2.4.12: Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für längs und quer der Abscherrichtung angeordnete Klettstreifen des Typs 1

Bild 2.4.13 Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für mehrmaliges Abscheren der gleichen Proben
a) ohne Klettstreifen
b) Kletttyp 1
c) Kletttyp 3

Bild 2.4.14: Scherspannungs-Scherweg-Diagramme für trockene und gesättigte Zustände; a) ohne Klettstreifen und Klettstreifentyp 2
b) Klettstreifentyp 3

Bild 2.4.15: Mit Sand bestreute Probe, um den Einfluss von Verunreinigungen während der Einbauphase zu simulieren

Bild 2.4.16: Scherspannungs-Scherweg-Diagramme für saubere und verunreinigte sowie nicht gesättigte Zustände; a) ohne Klettstreifen und Klettstreifentyp 2; b) Klettstreifentyp 3

Bild 2.4.17: Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für unterschiedliche Randbedingungen

Bild 2.4.18: a) Scherspannungs-Scherweg-Diagramm; b) Ermittlung der Adhäsion a und des Reibungswinkels φ

Bild 2.4.19: Ermittlung der Adhäsion a und des Reibungswinkels φ für folgende Zustände a) sauber, nicht gesättigt; b) sauber, gesättigt; c) verunreinigt, nicht gesättigt; d) verunreinigt, gesättigt

Bild 2.4.20: Darstellung ausgewählter Wiederholungsversuche

Bild 2.4.21: a) Anordnung der Klettstreifen; b) Großrahmenschergerät des Fachgebiets Geotechnik der Universität Kassel

Bild 2.4.22: a) Scherspannungs-Scherweg-Diagramm; b) Maximale Scherspannung in Abhängigkeit der Klettstreifenanzahl

Bild 2.4.23: a) Prinzipdarstellung des Modellversuches; b) Ansicht des Modellversuches mit fertiggestellter Stützkonstruktion; c) Rieselvorgang während des Hinterfüllvorgangs; d) Frontansicht der Stützkonstruktion

Bild 2.4.24: Schnitte A-A und B-B des Modellversuches

Bild 2.4.25: Angedachte Belastungsstufen bei der Durchführung der Modellversuche

Bild 2.4.26: Kontrolle der Verschiebungsmessung; a) Modellversuch 1;
b) Modellversuch 2

Bild 2.4.27: Setzung der Lastplatte bei Erstbelastung; a) Modellversuch 1;
b) Modellversuch 2

Bild 2.4.28: Laststufen und horizontale Erddruckspannungen
a) Modellversuch 1 ohne Klettstreifen
b) Modellversuch 2 mit Klettstreifen

Bild 2.4.29: a) Einteilung der Containerlagen zur Auswertung der gemessenen Verformungen; b) Schnittführung

Bild 2.4.30: Lagenweise Verschiebung der Stützkonstruktion bei Modellversuch 1; a) Lageverschiebung u über die Konstruktionshöhe z; b) Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe

Bild 2.4.31: Lagenweise Verschiebung der Stützkonstruktion bei Modellversuch 2; a) Lageverschiebung u über die Konstruktionshöhe z; b) Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe

Bild 2.4.32: Relativverschiebung ausgewählter Containerlagen; links jeweils der erste Belastungsvorgang; rechts inkl. Wiederbelastung mit geändertem Maßstab; a) Modellversuch 1 ohne Klettstreifen; b) Modellversuch 2 mit Klettstreifen

Bild 2.4.33: Zweidimensionales numerisches Modell

Bild 2.4.34: Simulation der Container und der Klettstreifen

Bild 2.4.35: Vergleich der numerischen Berechnung mit den Messergebnissen der Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z bei Modellversuch 1; a) ohne Berücksichtigung eines Anpassungsfaktors;
b) mit Anpassungsfaktor

Bild 2.4.36: Vergleich der numerischen Berechnung mit den Messergebnissen der Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z bei Modellversuch 2; a) ohne Berücksichtigung eines Anpassungsfaktors;
b) mit Anpassungsfaktor

Bild 2.4.37: Vergleich der numerischen Berechnung mit den Messergebnissen der Relativverschiebung Δu über die Laststufen; a) Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen); b) Modellversuch 2 (mit Klettstreifen)

Bild 2.4.38: Numerisch ermittelte horizontale Spannungsverteilung σ_x bei einer Auflast von 65 kN; a) Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen); b) Modellversuch 2 (mit Klettstreifen)

Bild 2.4.39: Numerisch ermittelte horizontale Verschiebung ux bei einer Auflast von 65 kN; a) Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen); b) Modellversuch 2 (mit Klettstreifen)

Bild 2.4.40: Vergleich der numerischen Berechnung mit den Messergebnissen der Lastplattensetzung sL über die Laststufen; a) Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen); b) Modellversuch 2 (mit Klettstreifen)

Bild 2.4.41: Vergleich der Erddruckspannungen eh aus den numerischen Berechnungen und den Messergebnissen a) Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen); b) Modellversuch 2 (mit Klettstreifen)

Bild 2.5.1: Schematischer Lageplan für die Anordnung der Container und der Vermessungspunkte

Bild2.5.2: a) Füllanlage; b) Befüllung eines Containers

Bild 2.5.3: a) Abgerissene Klettstreifen nach dem Füllvorgang; b) Aufgerissene Seitennähte

Bild 2.5.4: a) Transport der Container nach dem Füllvorgang; b) Einbau der Container mittels Greiferkonstruktion

Bild 2.5.5: Hochgezogener Container; a) ohne Klettstreifen; b) mit Klettstreifen

Bild 2.5.6: Ansicht des fertiggestellten Bauwerks

Bild 2.5.7: Darstellung der Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z für den Schnitt 1 (mit Klettstreifen) und den Schnitt 2 (ohne Klettstreifen) zum Anfangs- und Endzeitpunkt des Feldversuches

Bild 2.5.8: Relativverschiebung Δu einzelner Container aufgetragen über den Messzeitraum

Bild 2.5.9: Darstellung der horizontalen Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z für die untersuchten Container

Bild 2.5.10: Schematische Darstellung einer Karussell – Befüllanlage für Container mit Klettstreifen

Bild 2.5.11: Schema Fertigungsplatz für Container mit Klettstreifen

Bild 2.5.12: a) Vernähen von Containern; b) Druckluftbetriebene Breitklammerzange zum Verschließen der Container

Bild 2.5.13: Zahlreiche Tests zur Klammerwahl führten zum Optimum; a) Vorderseite der Klammern; b) Rückseite der Klammern

Bild 2.5.14: Dehnungstest mit Klettstreifentyp 3

Bild 2.5.15: a) Längsansicht der Container mit den unterschiedlichen Klettstreifen; b) Schnitt durch die Versuchskonstruktion

Bild 2.5.16: Mit Klammern verschlossener Container

Bild 2.5.17: Verlegen und Einbau der Container

Bild 2.5.18: a) Hinterfüllung des Dammbauwerks; b) Verdichtung und Befahren des hinterfüllten Bereichs

Bild 2.5.19.: Darstellung der horizontalen Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z für die untersuchten Container

Bild 2.5.20: Darstellung des Versuchsaufbaus

Bild 2.5.21: Befüllen der Container; a) Detailansicht Klemmvorrichtung; b) Klemmvorrichtung an der Gabel eines Radladers; c) Füllvorgang mittels Bagger

Bild 2.5.22: Kornverteilungskurve nach DIN 18123 für das verwendete Füllmaterial

Bild 2.5.23: Bau der Stützkonstruktion; a) Verlegen der Container; b) Anpressen der Container; c) Lagenweiser Aufbau; d) Letzte Lage um 90° gedreht angeordnet

Bild 2.5.24: Dokumentation der Errichtung der Rampe hinter der Stützkonstruktion

Bild 2.5.25: Belastung der Stützkonstruktion mittels Radlader

Bild 2.5.26: Darstellung der Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z für den Schnitt 1 (ohne Klettstreifen), den Schnitt 2 (Übergangsbereich) und den Schnitt 3 (mit Klettstreifen)

Bilder in der Anlage

Bild A.1: Lagenweise Verschiebung der Stützkonstruktion bei Modellversuch 1 (Schnitt 1); a) Lageverschiebung u über die Konstruktionshöhe z; b) Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z

Bild A.2: Lagenweise Verschiebung der Stützkonstruktion bei Modellversuch 2 (Schnitt 1); a) Lageverschiebung u über die Konstruktionshöhe z; b) Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z

Bild A.3: Relativverschiebung ausgewählter Containerlagen; links jeweils der erste Belastungsvorgang; rechts inkl. Wiederbelastung mit geändertem Maßstab; a) Modellversuch 1 ohne Klettstreifen (Schnitt 1); b) Modellversuch 2 mit Klettstreifen (Schnitt 1)

Bild A.4: Vergleich der Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z für den Schnitt 1 und 2 bei Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen)

Bild A.5: Vergleich der Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z für den Schnitt 1 und 2 bei Modellversuch 2 (mit Klettstreifen)

Bild A.6: Lagenweise Verschiebung der Stützkonstruktion bei Modellversuch 1 (Schnitt 3); a) Lageverschiebung u über die Konstruktionshöhe z; b) Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z

Bild A.7: Lagenweise Verschiebung der Stützkonstruktion bei Modellversuch 2 (Schnitt 3); a) Lageverschiebung u über die Konstruktionshöhe z; b) Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z

Bild A.8: Relativverschiebung ausgewählter Containerlagen; links jeweils der erste Belastungsvorgang; rechts inkl. Wiederbelastung mit geändertem Maßstab; a) Modellversuch 1 ohne Klettstreifen (Schnitt 3); b) Modellversuch 2 mit Klettstreifen (Schnitt 3)

Bild A.9: Schematische Anordnung der Messpunkte in der Frontansicht der Konstruktion

Bild A.10: Schematische Anordnung der Messpunkte in der Draufsicht der Konstruktion

Bild A.11: Anordnung der Messpunkte in der Frontansicht

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 2.1: Übersicht über die Regelwerke zur Anwendung von Geokunststoffen im Erd- und Wasserbau

Tab. 2.2: Kriterien zur Bestimmung der mechanischen und hydraulischen Filterwirksamkeit nach FGSV (M Geok E, 2005) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, 2005

Tabelle 2.3: Vliesstoffparameter

Tabelle 2.4: Übersicht zu den Vliesstoffparametern, Muster 1

Tabelle 2.5: Übersicht zu den Vliesstoffparametern, Muster 2

Tabelle 2.6: Übersicht zu den Vliesstoffparametern Muster 3

Tabelle 2.7: Übersicht zu den Vliesstoffparametern, Muster 4

Tabelle 2.8: Übersicht zu den Vliesstoffparametern, Muster 7

Tabelle 2.9: Übersicht zu den Vliesstoffparametern, Muster 5

Tabelle 2.10: Übersicht zu den Vliesstoffparametern, Muster 6

Tabelle 2.11: Übersicht zu den Vliesstoffparametern der Einzelrollen, Muster für Feldtest Nordhorn

Tabelle 2.12: Parameter der optimierten Vliesstoffmuster

Tabelle 2.13: Angaben zu ausgewählten Microplast®-Klettfolievarianten

Tabelle 2.14: Vorversuche auf der Vliesraschelmaschine RS3 MSUS-V, Kombination aus Vliesstoff, Klettbändchen und Gitter (Längs- und Querfäden)

Tabelle 2.15: Webringdurchmesser mit der daraus resultierenden doppelt flachgelegten Breite

Tabelle 2.16: Wesentliche Materialuntersuchungen (Rundwebmaschine, Schuss und Kette)

Tabelle 2.17: Ergebnisse zum Naht-Zugversuch nach DIN EN 13935-1

Tabelle 2.5.1: Aus den Rahmenscherversuchen ermittelte Adhäsion a und Reibungswinkel φ für die untersuchten Zustände

Tabelle 2.5.2: Dokumentation der verwendeten Versuche für die in Bild 2.5.19 ermittelten Kennwerte

Tabelle 2.5.3: Verwendete Boden- und Materialkenngrößen für die numerischen Berechnungen

Tabellen in der Anlage

Tabelle A.1: Messwerte der einzelnen Messpunkte für die Nullmessung und der 1. Messung in Metern

Tabelle A.2: Messwerte der einzelnen Messpunkte für die 2. und 3. Messung in Metern

Tabelle A.3: Messwerte der einzelnen Messpunkte für die 4. und 5. Messung in Metern

Tabelle A.4: Messwerte der einzelnen Messpunkte für die Nullmessung und 1. Messung

Tabelle A.5: Messwerte der einzelnen Messpunkte für die Nullmessung und der Messung vor der 1. Belastung in Metern

Tabelle A.6: Messwerte der einzelnen Messpunkte für die Messung nach der 1. und 2. Belastung in Metern

Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1: Ergänzende Darstellung der Versuchsergebnisse

1 Einführung

1.1 Beschreibung des Projektes, der Aufgaben und Ziele

Trotz ihres großen Innovationspotenzials werden Container im Erd- und Wasserbau bislang nur begrenzt eingesetzt. Ein Grund hierfür ist die geringe Oberflächenrauheit der geosynthetischen Elemente. Beim Aufeinanderstapeln einzelner Containerelemente, z. B. bei der Herstellung von Stützkonstruktionen, treten horizontale Spreizkräfte auf, die von den inneren Schubflächen zwischen den Containerelementen oftmals nicht aufgenommen werden und die zu einem Systemversagen führen können (stark begrenzte Stapelfähigkeit infolge glatter Oberfläche; ungenügende Lagestabilität, da die Container untereinander nicht verbunden sind). Obwohl Ideen zur Erhöhung des Reibungs- bzw. Haftverbundes durch nachträgliches Anbringen oder Integration konventioneller Klettverschlüsse direkt während der Herstellung existieren, wurden diese wegen sehr hoher Kosten bisher nicht praktiziert.

Ziel ist, diesen Nachteil der ungenügenden Stapelfähigkeit zu beseitigen, indem die wissenschaftlich-technischen Grundlagen sowie Prinziplösungen für innovative Geotextilien mit klettenden Eigenschaften geschaffen werden. Die Komponenten einer Klettverbindung (Prinzip „Haftverschluss“) sollen auf kostengünstige Weise bereits bei der Herstellung über Wirk- und/oder Rundwebtechniken integriert und eine optimale Haftung der Komponenten erreicht werden. Ausgangspunkt sind folgende textile Verfahren:

- Wirktechnik mit Vliesstoffzuführung: Kombination hochfester Gitter mit Vliesstoff und aus Klettfolie geschnittener Klettfäden; diese Lösung hat den Vorteil der Verarbeitung ungeschnittener, sehr breiter Vliesstoffbahnen und damit großer Variabilität in den Containerabmessungen;
- Rundweben: Modifizierung dieser Technologie zur Herstellung von schlauchförmigen Textilien, um ebenfalls beide Komponenten der Klettverbindung (zu Bändchen geschnitten) sowie Last aufnehmende Strukturelemente bereits bei der Herstellung zu integrieren. Diese Lösung orientiert auf die Einsparung von Konfektionsaufwand sowie die Aufnahme hoher Ringzugkräfte durch spiralförmig eingearbeitete Fäden.
- Vliesstoffherstellung: Kombination mit weiteren Elementen wie zugfesten Geogittern oder anderen Materialien.

Herstellung und Anwendung stapelsicherer geotextiler Container mittels dieser Textiltechniken sind neu. Durch die Untersuchungen werden die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen für die angestrebte Lösung für stapelsichere geotextile Container erarbeitet. Dabei sollen als Möglichkeiten der nachträglichen Ausrüstung von Vliesstoffen mit Klettverschlüssen die Textiltechniken Wirken und Rundweben genutzt werden.

1.2 Zusammenarbeit

Teilvorhaben 1 (Förderkennzeichen 01 RI 05251):
Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.
an der Technischen Universität Chemnitz

Teilvorhaben 2 (Förderkennzeichen 01 RI 05252):
Universität Kassel, Fachgebiet Geotechnik

Teilvorhaben 3 (Förderkennzeichen 01 RI 05253):
WITTFELD GmbH

Teilvorhaben 4 (Förderkennzeichen 01 RI 05254):
NAUE GmbH & Co. KG

Teilvorhaben 5 (Förderkennzeichen 01 RI 05255):
Heinrich Hirdes GmbH

Teilvorhaben 6 (Förderkennzeichen 01 RI 05256):
E&M Eichler und Meurers Industrietechnik GmbH

Teilvorhaben 7 (Förderkennzeichen 01 RI 05257):
Flexitex GmbH

Teilvorhaben 8 (Förderkennzeichen 01 RI 05258):
Colcrete- von Essen GmbH&Co KG

Weitere unterstützende Unternehmen und Einrichtungen:

KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH

Gottlieb Binder GmbH&Co KG, Holzgerlingen

Kirson Industrial Reinforcements GmbH, Neustadt / Donau

A.H. Meyer, Twistringen

Wasser- und Schifffahrtsverwaltung Blexen/Nordenham

Wasser- und Schifffahrtsamt Stralsund

Universität Rostock, Institut für Umweltingenieurwesen, Lehrstuhl für Landeskulturelle Ingenieurbauwerke

Max Süß GmbH, Sehmatal OT Cranzahl

Stadtmission Chemnitz e.V. PARTNER-Werkstatt für behinderte Menschen-09217 Burgstädt

Bild 1.1: Partner und unterstützende Firmen in Deutschland

Im vorliegenden Projekt zur Entwicklung von stapelsicheren geotextilen Containern wurde insbesondere in folgenden Bereichen zusammengearbeitet:

- Textilindustrie – Entwicklung und Herstellung der textilen Fläche:

  Vliesstoffentwicklung, Wirk- und Webtechnik, textile Klett- und Haftelemente, Ausrüstung

- Konfektionstechnik

  Näh- und Zuschnitttechnologie

- Maschinenbau

  Kettenwirkmaschinen, Rundwebtechnik, Gatter, Nähmaschinen

- Geotechnik/Bauindustrie - Wasserbau, Erdbau, Verkehrswegebau:

  Einbau, Bautechnik, Messverfahren, maßstäbliche Versuche, Modellbildung

Durch die Verfügbarkeit der benötigten maschinellen Grundausstattung und des technischen Know-hows bei den beteiligten Unternehmen wird eine kurzfristige, wirtschaftliche Umsetzung der Entwicklungsergebnisse in die Praxis unterstützt.

1.3 Voraussetzungen

Die dem Projekt zugrunde liegende Ziel- und Aufgabenstellung ist fachgebietsübergreifend und neu. Zur Bearbeitung des vorliegenden Forschungsvorhabens wurde deshalb ein Konsortium geschaffen, das Partner aus mehreren Branchen sowohl der

Industrie als auch der Forschung einbezieht. Damit konnte eine Aufgabenstellung bearbeitet werden, die durch die Kombination neuer Technologien einen hohen Innovationsgrad und große Anwendungsbreite ermöglicht. Gemeinsames Ziel der Forschungspartner war es, arbeitsteilig in einem Verbundprojekt eine übergreifende Problemlösung für Herstellung, Anwendung und Bewertung von stapelsicheren geotextilen Containern zu schaffen und die Funktionsfähigkeit der Prinziplösung in klein-, großmaßstäblichen und Feldversuchen für mehrere unterschiedliche Einsatzfälle nachzuweisen.

Beim vorliegenden Forschungsvorhaben handelte es sich um eine fachübergreifende, zukunftsorientierte Aufgabenstellung mit hohem technischen, forschungsseitigen und wirtschaftlichen Risiko. Die Neuartigkeit der stapelsicheren geotextilen Container bedingte ein Entwicklungsrisiko, das deutlich über dem Üblichen lag. Dieses Risiko ergab sich vor allem daraus, dass bisher keine Lösungen für Herstellung und Einsatz derartiger stapelfähiger Erzeugnisse in der Geotechnik vorlagen und betraf alle Stufen der Entwicklung und Anwendung von den textilen Strukturen über Herstellungstechnologie, maschinentechnische Voraussetzungen bis zur Einbautechnologie.

Für die Bearbeitung des Vorhabens wurde der neueste Stand von Wissenschaft und Technik genutzt, und zwar sowohl in der Textilforschung, der Mess- und Auswertetechnik, der geotechnischen Untersuchungen hinsichtlich numerischer Berechnungen, Modellierung und der experimentellen Versuche. Die moderne Maschinen-, Geräte- und Verfahrenstechnik der beteiligten Partner bot eine gute Voraussetzung für die Bearbeitung.

Bei den Projektpartnern sind langjährige Erfahrungen auf dem Gebiet der Projektkoordination, der Entwicklung, Modellierung, Berechnung und Anwendung technischer Textilien, insbesondere von Geotextilien, vorhanden. Die vorhandene Labor- und Maschinentechnik sowie Erfahrungen waren ein guter Ausgangspunkt bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung.

Das **Sächsische Textilforschungsinstitut (STFI)** verfügt über jahrzehntelange Erfahrungen und Kenntnisse in verschiedenen Branchen der Textilindustrie, des Maschinenbaus und der Anwendung, insbesondere von technischen Textilien einschließlich Verpackungsmittel und Säcke (Forschungsarbeiten von der Technologie- und Produktentwicklung bis hin zur praktischen Erprobung und Überleitung textiler Prinziplösungen in die industrielle Produktion). Seit langem wird in vielfältiger Weise mit Behörden und in interdisziplinären Forschungsgruppen zusammengearbeitet, z. B. mit der Feuerwehr und dem Technischen Hilfswerk Chemnitz bei der Erprobung von neuartigen textilen Lösungen für den Wasserbau. Im Ergebnis entstand eine Vielzahl von Produktideen, z.B. gewirkte und rundgewebte Schläuche für Verpackungssäcke und geotextilummantelte Sandsäulen, die in großem Umfang kommerziell genutzt werden (allein ca. 66.000 Sandsäulen zwischen 4 – 14 m Länge im DASA-Projekt Hamburg-Finkenwerder 2002/2003).

NAUE GmbH Co. KG ist ein erfahrener Hersteller von Vliesstoffen für eine Vielzahl von Anwendungen und besitzt umfassendes Know-how in der Entwicklung von Produkten für geotextile Einsatzzwecke.

Die Firma **Flexitex GmbH** ist ein aufstrebendes kleines ostdeutsches Unternehmen mit dem notwendigen Fachpersonal sowie umfangreichen Erfahrungen in der textilen Fertigung technischer Textilien (40% vom Umsatz). Teilgebiet des Firmenprofils ist Konfektions- und Zuschnitttechnik. In Kooperation mit Flexitex GmbH arbeitet **SL-**

Spezialnähmaschinenbau Limbach GmbH & Co. KG, seit Jahrzehnten Spezialist auf dem Gebiet Konfektionsmaschinenbau für technische Textilien.

Die **Maschinenfabrik Einsiedel GmbH** ist ebenfalls ein kleines Unternehmen und arbeitet seit langem im Bereich Sondermaschinenbau sowie Zuliefereinrichtungen für Textilmaschinen, insbesondere Spulengatter, Fadenführer und Fadenleitelemente. Kompetenz besteht außerdem hinsichtlich der Herstellung von Schweißbaugruppen, vor allem Sonderschweißverfahren (Aluminium, rostfreie Stähle). Die Firma besitzt erfahrene Mitarbeiter auf dem Gebiet der Entwicklung und Fertigung von Rundwebmaschinen sowie der Teilebereitstellung und Fertigung von Funktionselementen für die Rundwebtechnik.

Die Durchführung der Praxisversuche erfolgt durch drei führende Unternehmen in den Bereichen

- Geotechnik / Erdbau / Verkehrswegebau, WITTFELD GmbH,
- Wasserbau ohne Tideeinfluss (Binnenwasserbau, Colcrete-von Essen GmbH u. Co KG) und
- Wasserbau mit Tideeinfluss und Seegangsbedingungen (Küstenschutz, Küstenwasserbau, Heinrich Hirdes GmbH).

Die **WITTFELD GmbH** arbeitet seit Jahrzehnten in den Sparten Straßen- und Tiefbau, Verkehrswegebau, Ingenieurbau, Gleisbau, Umwelttechnik u.a. Die Firma verfügt über die Kompetenz und Spezialgerätetechnik, um die vorgesehenen anspruchsvollen Entwicklungsarbeiten zum Verbau der zu entwickelnden Geocontainer durchzuführen. Insbesondere soll die Firma umfangreiche praktische Versuchsarbeiten zur Anwendung der neuartigen geotextilen Container im Verkehrswege- / Ingenieurbau übernehmen.

Im Projekt soll die langjährige Kompetenz der Firma **Colcrete-von Essen GmbH u. Co KG** im Spezialgebiet Binnenverkehrswasserbau und Strombaumaßnahmen ohne Tideeeinfluss genutzt werden (Schifffahrtsstraßen, Wasserbauwerke in Kanälen und Flüssen sowie Planung und Ausführung von Wasserbauprojekten). Das Unternehmen verfügt über einen umfangreichen Gerätepark, darunter eine Vielzahl schwimmender Arbeitseinheiten.

Die **Heinrich Hirdes GmbH** ist ein bedeutendes deutsches Wasserbauunternehmen mit jahrzehntelanger Erfahrung. Im Projekt sollen das Know-how im Hauptkompetenzfeld Küsteningenieurwesen und Seehafenbau mit Tideeinfluss und unter Seegangsbedingungen sowie die dafür verfügbare hoch entwickelte Wasserbaugerätetechnik genutzt werden.

Die Projektarbeiten werden in Kooperation durch die kompetente Firma **BBG Bauberatung Geokunststoffe** begleitet. BBG berät seit ihrer Gründung 1998 planende Ingenieurbüros, Behörden und ausführende Firmen bei Bemessung, Auswahl und Anwendung von Geokunststoffen im Erd-, Straßen-, Gleis- und Verkehrswegebau, Tunnel-, Wasser- und Deponiebau sowie im Grundwasserschutz. Als Fachberater arbeiten Bauingenieure der BBG bereits seit 1981 auf dem Gebiet Geokunststoffe sowie sind in den Fachausschüssen Ak 5.1 „Geokunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau" und Ak 6.1 „Geotechnik der Deponien und Altlasten" der DGGT e.V., AA 5.15 „Anwendung von Geotextilien und Geokunststoffen im Straßenbau" der FGSV sowie in verschiedenen Geokunststoff-Normungsausschüssen aktiv tätig.

Die theoretischen und experimentellen wissenschaftlichen Untersuchungen auf dem Gebiet der Geotechnik einschließlich Messtechnik erfolgen durch das **FG Geotechnik der Universität Kassel.** Das FG Geotechnik der Universität verfügt über eine umfassende und langjährige Kompetenz in diesem Bereich sowie über die für das Forschungsvorhaben notwendigen umfangreichen und speziellen Kenntnisse zu geotechnischen Modellversuchen, Messtechnik und Standsicherheitsanforderungen. Die Verwendung von Textilien im Erdbau wird seit langem wissenschaftlich bearbeitet durch langjährige Aktivitäten im Bereich von Forschungsarbeiten, geotechnischen Gutachten (Mitarbeit in Fachgremien, praktische Erprobungen in Labor und Baupraxis). Bei Forschungsvorhaben konnten bereits innovative neue Fertigungs- und Bauverfahren (z. B. Geotextilummantelte Sandsäulen, geokunststoffbewehrte Tragschichten über Pfahlelementen) in Zusammenarbeit mit anderen Forschungspartnern und der Industrie erfolgreich umgesetzt werden. Anwendungen dieser Entwicklungen wurden in den letzten Jahren umfangreich genutzt, z.B. Airbus-Erweiterung in Hamburg sowie zahlreiche Projekte im Verkehrswegebau.

Des Weiteren wurde im Projektverlauf der fachbezogene Kontakt zu den **Ämtern und Institutionen** vorgesehen

- BAW - Bundesanstalt für Wasserbau,
- Arbeitskreis Ak 5.1 „Kunststoffe in Geotechnik und Wasserbau“ (Prof. Dr-Ing. F. Saathoff) der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik DGGT/ Universität Rostock, Institut für Umweltingenieurwesen, Lehrstuhl für Landeskulturelle Ingenieurbauwerke
- Bundesanstalt Technisches Hilfswerk,
- Forschungsgesellschaft für Straßenwesen (FGSV),
- WSA Wasser- und Schifffahrtsamt Weser, Niederlassung Hamburg,
- Niedersächsisches Hafenamt (Cuxhaven),
- WSA Stralsund,
- STAUN Staatliches Amt für Umweltschutz und Natur Rostock,
- STAUN Stralsund,
- STAUN Ückermünde,
- NLWK Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz Norden,
- Amt für Ländliche Räume Schleswig-Holstein Husum (NLWK Schleswig-Holstein)
- Kreisabteilung Umweltschutz Hooksiel
- WSA Bremerhaven / Blexen
- NLWK Brake / Wilhelmshaven

Die im Folgenden genannten Unternehmen trugen durch Sach- und Arbeitsleistungen ohne Kostenberechnung wesentlich zu Bearbeitung des Forschungsprojekts bei:

- **Gottlieb Binder GmbH & Co** (führendes und innovatives Unternehmen im gesamten Produktbereich Kletten- und Haftverschlüsse, extrudiert sowie auf textiler Basis)
- **KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH** ist ein erfahrener Hersteller von Maschinen für die Produktion von technischen Textilien und Weltmarktführer für Nähwirk-, Bi- und Multiaxial-Wirkmaschinen. Eine der neuesten Entwicklungen

ist die für die Arbeiten im Forschungsvorhaben vorgesehen Raschelmaschine mit Magazinschusseintrag für die Herstellung von Vliesverbundstoffen.

Des Weiteren wurden die vorliegenden Arbeiten durch den Lehrstuhl für Landeskulturelle Ingenieurbauwerke der **Universität Rostock**, Institut für Umweltingenieurwesen unterstützt.

1.4 Planung und Ablauf der Untersuchungen

Für das **Verbundgewirke** mit Kletteigenschaften sollte in der ersten Stufe der Entwicklung ein Gitter mit einem Vliesstoff und mit klettenden Elementen (Haken-, Pilzform o.a.) kombiniert werden. Der Vliesstoff sollte gleichzeitig als Flauschseite des Klettverschlusses dienen. Unter Anwendung der Kettenwirktechnik war deshalb vorgesehen, bereits bei der Herstellung ein Textilgitter mit einem Vliesstoff und klettenden Elementen zu kombinieren.

Das Textilgitter wird dabei als ein in zwei Richtungen hochfestes Trägermaterial eingearbeitet, der Vliesstoff mit seiner fasrigen Oberfläche übernimmt die Funktion des Flauschteils der Klettverbindung und dient dem Rückhalten von Füllmaterial (z. B. Sand). Die klettenden Fäden / Bändchen bilden den Hakenteil des Klettverbundes. Es sollte die Möglichkeit untersucht werden, diese Bändchen z.B. aus neuartiger Microplast®-Klettfolie [1] unmittelbar bei der Herstellung des Verbundtextils direkt an der Wirkmaschine zu schneiden und unmittelbar danach als „Klettfäden“ einzuarbeiten. Dadurch sollte die Haftkraft zwischen aufeinanderliegenden geotextilen Containern wesentlich erhöht werden.

Ebenfalls untersucht werden sollte die zusätzliche Einarbeitung Last tragender Elemente.

Eine weitere zu entwickelnde Prinziplösung unter Anwendung textiler Schläuche aus **Rundgewebe** sollte gleichfalls die Kombination von Flausch- (= Vliesstofffäden) und Klettelementen (= Fäden aus Microplast®-Klettfolie) nutzen.

Bei der Entwicklung der textilen Strukturen unter Nutzung der **Vliesstoff**technologie war vorgesehen, verschiedene Rohstoffe und Fasermengen pro Quadratmeter einzusetzen. Ebenso war eine Variation der Verfestigungsart der Fasern und damit der Flauschigkeit und Hafteigenschaften der Vliesstoffoberfläche vorgesehen (unterschiedliche Nadelsysteme, Nadelgeometrie).

Ein weiterer Komplex befasst sich mit Zuschnitt und Konfektionierung ausgewählter Verbundstoffvarianten zu Containern (Größenvariation, zusätzliche Sonderelemente). Für diese Arbeiten waren Entwicklung, Bau und Erprobung von Laborversuchsstände und Zusatzeinrichtungen bzw. die Modifizierung vorhandener Maschinentechnik notwendig.

Abgestimmt zur Entwicklung der Textilstrukturen wurden theoretische und kleinmaßstäbliche experimentelle geotechnische Untersuchungen zum Verhalten der Containerelemente im Verbund vorgesehen, um die Grundlagen für weitere Versuchsreihen zur Optimierung sowie Auswahl und Herstellung des Versuchsmaterials für die Praxistests abzuleiten.

In geotechnischen Untersuchungen sollten die Wirkungsweise sowie mögliche Optimierungen der Schubverbindungen der stapelsicheren geotextilen Container (SGC)

experimentell und theoretisch für Anwendungen im Erdbau und Wasserbau nachgewiesen werden.

Als wesentlicher Teil des Forschungsvorhabens waren umfangreiche Feldtests vorgesehen für die Bereiche

- Geotechnik / Erdbau / Verkehrswegebau
- Wasserbau ohne Tideeinfluss (Binnenwasserbau)
- Wasserbau mit Tideeinfluss bzw. unter Seegangsbedingungen (Küstenschutz, Küstenwasserbau)

Mit diesen anwendungstechnischen Untersuchungen sollten Lösungen für Verlegetechnik und Einbauverfahren erarbeitet, getestet sowie das Verhalten der Containerelemente unter Praxisbedingungen eingeschätzt werden. Die Versuchsarbeiten erfolgten durch die Projektpartner WITTFELD GmbH, Heinrich Hirdes GmbH und Colcrete- von Essen GmbH&Co KG, die messtechnische Vorbereitung, Begleitung und Auswertung wurde durch die Universität Kassel, Fachgebiet Geotechnik, übernommen.

Bei der Durchführung der Feldtests ergaben sich in der Vorbereitungsphase Verzögerungen durch die erforderlichen Abstimmungen mit verschiedenen Behörden und Institutionen, wodurch die ursprünglich vorgesehenen Testfelder nicht genutzt werden konnten. Des Weiteren machten lang anhaltende ungünstige Wetterbedingungen eine mehrfache Verschiebung der Versuchsdurchführung notwendig (hierzu s. a Abschnitt 2.3).

1.5 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Geosynthetische Container sind Vielzweckelemente mit einer geosynthetischen Umhüllung und fester oder flüssiger Füllung (Sand, Beton, Wasser, Abfallstoffe usw.). Ihre potenziellen Anwendungsmöglichkeiten sind bei geeigneter Konstruktion (Form/Größe, Material und Eigenschaften von Hülle und Füllung etc.) nahezu unbegrenzt. Z. B. werden dünne Sandmatten oder Tondichtungsbahnen mit Sand oder Bentonit gefüllt. Matratzen zum Schutz gegen mechanische Einwirkungen oder Erosion und für undurchlässige Auskleidungen sind bis zu 80 cm dick. Horizontale Schläuche werden verwendet als Speicherbehälter, mit Wasser oder Sand gefüllte Sperren, zum Deponieren von Schlämmen sowie für Damm- und Deichkerne, vertikale Schläuche für die Bodenverbesserung und als Vertikaldräns. Säcke/Bags dienen als Hochwasserschutz, für Kolkschutz und –reparatur (z. B. Bild 1), sie werden im Böschungsbau eingesetzt (auch in Kombination mit Pflanzen), als Gabionen, künstliche Riffe usw.

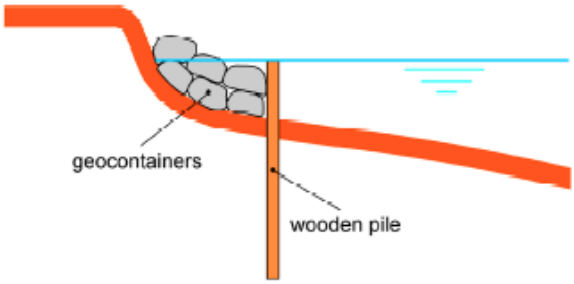


Bild 1.2: Vorübergehende Kolk-Reparatur unter Verwendung eines geotextilen Containers [2]

Geocontainer sind relativ neu beim Bau von Dämmen (Kern) und Wellenbrechern, als Schutz von Gewässersohlen usw. ([3], [4]). Sie werden im Küstenschutz ver-

wendet, hauptsächlich als Wälle für Rückgewinnungsarbeiten, aber ebenso für die Aufbewahrung und Absonderung von kontaminiertem Boden, wie er beim Nassbaggern in Häfen anfällt. Derartige Geocontainer haben ein Volumen bis 1000 m³ Sand. Sie werden teilweise vorgefertigt, indem ein Geotextil in der gewünschten Form einer Klappschute angepasst abgenäht wird (Bild 2). In der Schute wird der Geocontainer mit Sand gefüllt, mit einer Spezialnaht verschlossen und auf den Gewässergrund oder andere Geocontainer abgeworfen.

Bild 1.3: Klappschute mit Geotextilcontainer (Foto NAUE, [5])

Geokunststoffe werden im gesamten Wasserbau verwendet, um die Sicherheit und Langlebigkeit von Bauwerken zu erhöhen und fehlende Funktionen zu erfüllen [6]. So werden sandgefüllte Säcke und Schläuche in Küstenbauwerken (z. B. für Buhnen zur Vermeidung weiterer Auskolkungen) oder zur Sohlensicherung eingebaut. Beim Aus- und Neubau von Fließ- und Staugewässern übernehmen Geokunststoffe vielfältige Aufgaben, geotextile Container und Schläuche stabilisieren dabei den Strömungsverlauf und werden für den Kolkschutz eingesetzt. Ein Beispiel sind Terrafix Soft Rock® Vliesstoffcontainer, die als Erosionsschutz eingesetzt werden, wenn extreme Strömungsgeschwindigkeiten vorherrschen oder bereits vorhandene Auskolkungen schnell und dauerhaft sicher aufgefüllt werden müssen. Obwohl Vliesstoffe höhere Reibungswinkel untereinander als zum Beispiel Gewebe aufweisen, sind weitere Verbesserungen notwendig, um die Haftung weiter zu erhöhen und damit die Container steiler stapeln zu können und sie langfristig lagestabiler zu machen.

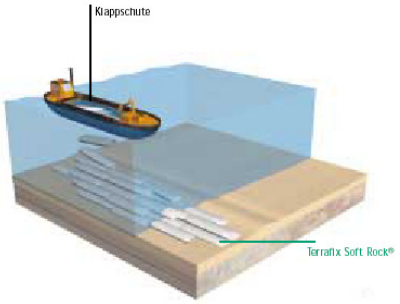


Bild 1.4: Einbau eines Terrafix Soft Rock® Wellenbrechers mit einer Klappschute (NAUE, [6])

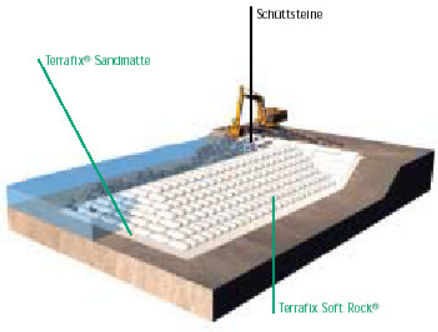


Bild 1.5: Querwerk zur Beeinflussung der Strömungsverhältnisse aus Terrafix Soft Rock® (NAUE, [6])

In Bereichen hoher Strömungsgeschwindigkeiten wie bei Fließgewässern besteht die Gefahr der Kolkbildung. Bei künstlichen Bauwerken, wie Brückenpfeilern und Sohlschwellen, ist die Gefährdung aufgrund der turbulenten Strömung besonders groß. Dort werden Sandcontainer zur Auffüllung bereits entstandener Auskolkungen eingesetzt.

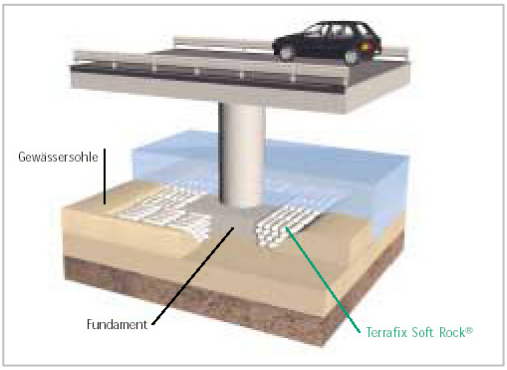


Bild 1.6: Kolkschutz an Bauwerken mit Terrafix Soft Rock® (NAUE, [6])

Geotextile Bauelemente haben sich bereits vielfach in Bauvorhaben bei nationalen und internationalen Küstenschutz-Projekten bewährt ([7], [8], [9], [10]), u.a. erfolgte der Einsatz im aktiven und passiven Küstenschutz zum

- Bau von vorgelagerten Riffen und Wellenbrechern
- Stabilisieren von Strandersatzmaßnahmen
- sofortigen Schutz gegen fortschreitenden Wellenangriff
- Bau einer künstlichen, unsichtbaren Düne

Als Beispiel sei die Verwendung von 48.000 geotextilen Terrafix Soft Rock® Vliesstoffcontainern (1 m³ Füllvolumen) zur Sanierung des Eidersperrwerks genannt [7].

An der Westküste der Insel Sylt kam es durch eine Sturmflutserie in den Wintermonaten 1990 zu erheblichen Ausräumungen des Kliffes mit Absturzgefährdung eines Hauses. Zur Sicherung wurde eine Kombination aus 5 m hoher Sandvorspülung und integrierter, mit Terrafix Soft Rock® bewehrter Düne gebaut [11].

Entwicklungsländer mit touristisch bedeutsamen Küstenregionen gewinnen an wirtschaftlichem Stellenwert [12]. Die erosionsgefährdeten Küstenregionen von Sri Lanka und Gambia sind in der Vergangenheit sowohl von der internationalen Entwicklungshilfe als auch von privaten, ausländischen Investoren in strategischen Küstenschutzmaßnahmen wirtschaftlich unterstützt und ingenieurtechnisch beraten worden. Neben herkömmlichen Küstenschutzbauwerken sind Sofortmaßnahmen zum Schutz akut gefährdeter Gebäude mit Sandcontainern umgesetzt worden.

Ein Beispiel für den erfolgreichen Einsatz von Sandcontainern stellt die Küstenschutz-Maßnahme 1999 in Narrowneck an der australischen Gold Coast dar ([13], [14], [15], [16]). Dort wurde ein 200 m breiter (küstenparallel) und 450 m langer Unterwasserwellenbrecher fertiggestellt. Dieser dient als künstliches Riff und besteht aus rund 280 sandgefüllten Terrafix Soft Rock® Vliesstoffcontainern (Projektpartner Fa. NAUE, BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH&Co. KG). Das Querprofil des Riffkörpers variierte zwischen 1 m und 10 m unterhalb des mittleren Wasserspiegels. Damit wurde eine einfache und effektive Maßnahme umgesetzt, die dem sanften Küstenschutz, den wirtschaftlichen Interessen am Tourismus und den öko-

logischen Anforderungen dient. Wirtschaftlichkeitsanalysen ergaben eine Amortisation der Baukosten (2,2 Mio. A$) in weniger als einem Jahr Betriebszeit [16]. Dass die Wahl auf geotextile Mega-Sandcontainer als Bauelemente fiel, ist zum einen in der wirtschaftlichen und effektiven Wirkungsweise der eingesetzten, mechanisch verfestigten Vliesstoffe (50% Ersparnis gegenüber herkömmlicher Bauweise mit starren Bauelementen) und zum anderen im verminderten Verletzungsrisiko für die Surfer, in der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit begründet.

Modelluntersuchungen zur hydraulischen Stabilität und hydraulische Prozesse an Bauwerken für die Dünensicherung von geotextilen Containern unter Wellenbelastung sind in [17] beschrieben. Dabei wurden die Kenngrößen des Seegangs sowie die Abmessungen der Bauwerkselemente variiert. Es wird beschrieben, dass es unter entsprechender Belastung des Bauwerks bis zu einem Füllgrad von 80 % zum Gleiten und bei höherem Füllgrad zu einer Rotation der Container kommt. Außerdem kann vertikales Abheben der Säcke im Kronenbereich auftreten (Orbitalgeschwindigkeit der Wellen). Es ist ableitbar, dass eine Erhöhung der Haftung zwischen den Containern entscheidend zur Stabilisierung des Bauwerks beiträgt. So konnte in einem Versuch eine wesentliche Stabilitätsverbesserung erreicht werden, indem zwischen zwei Containerlagen ein Klettbandstreifen lose eingelegt wurde. Mit ansteigender Wellenbelastung klappten dabei die Container teilweise bis zum Klettband um. Daraus ist zu erkennen, dass - wie im vorliegenden Projekt vorgesehen - bei Containern mit Hafteigenschaften über die gesamte Oberfläche eine wesentliche Stabilitätsverbesserung des Verbundes zu erwarten ist. Werden klettende Elemente bereits bei der Herstellung des Hüllmaterials für den Container eingearbeitet, entfällt ein nachträgliches, aufwändiges Aufkleben oder Aufnähen von Klettband bzw. das manuelle Einlegen von Klettstreifen vor Ort und eine innovative, wirtschaftliche Lösung ist erreichbar. (Weitere Literaturstellen s. [18] bis [27])

In der Patentliteratur, z.B. [26], wird der Gedanke beschrieben, Kletthaft- und -verbindungselemente durch Kleben, Nähen oder Schweißen auf Umhüllungen von Sandsäcken oder Matten anzubringen. Das bedeutet aufwändige Konfektionsarbeiten und hat sich deshalb nicht bewährt.

Eine weitere Anwendung von Geotextilcontainern, z. B. großen Geoschläuchen und Säcken aus Vliesstoff oder Gewebe (PES, PP), ist die Entwässerung und Konsolidierung von Abwasserschlämmen und Abfällen mit Schadstoffen sowie die Verbesserung der Abwasserqualität (Bild 6). Nach Untersuchungen in [19] kann diese neue, innovative Technologie wirtschaftlich mit anderen Schlammentwässerungsverfahren konkurrieren und erfordert keine extensive oder ständige Instandhaltung.

Bild 1.7: Geoschlauch nach der Verfüllung mit schadstoffhaltigem Material ([19])

Die Vielfalt der Anwendungen und Arten von Geocontainern sowie ihr ständig wachsendes Potenzial werden u.a. in [2], [20], [21] dargestellt. Alle Formen, Größen und Materialien bis hin zu Jute und Kokosfasern werden eingesetzt, obwohl die meisten aus Geweben oder Vliesstoffen bestehen, die als Geofilter oder für die Erdbewehrung verwendet werden.

Der Einbau von Geofiltern unter Wasser erfordert gewöhnlich Maßnahmen gegen Faltenbildung, Aufschwimmen usw. Außerdem können Strömungen und Wellen die Installation von Geocontainern stören. Eine Neuentwicklung ist die Sandmatte von NAUE, ein dünner geotextiler Container. Sie besteht aus zwei Geokunststoffhüllen, zwischen die Sand oder ein anderes mineralisches Material gefüllt wurde, z. B. auch ein Granulat aus Metallschlacke mit hoher spezifischer Masse. Die beiden Hüllen sind entweder vernadelt oder vernäht, um die Füllung an der richtigen Stelle zu halten. Die maximale Füllmasse ist 9 kg/m².

Ähnliche aufgebaute Strukturen für eine völlig andere Anwendung sind geosynthetische Tondichtungsbahnen (GCL bzw. CGB). Sie enthalten ebenfalls eine mineralische Füllung, zumeist Bentonit, und dienen als undurchlässige Auskleidungen für Deponien, Grundwasserschutz, Kanäle usw.

Flache Elemente, z. B. geosynthetische Matratzen, sind eine weitere Art von Container; sie haben ein größeres Volumen als die oben beschriebenen dünneren Elemente, es werden jedoch ebenfalls große Flächen bedeckt. Füllungen sind Sand, Beton oder Mörtel. Sie können auch „endlos“ verlegt werden. Sandgefüllte Matratzen werden als Schutzschichten, z. B. für geosynthetische Dichtungsbahnen in Deponien oder im Erosions- und Kolkschutz verwendet. Bei der Installation muss ein mögliches Aufschwimmen vermieden werden.

Geosynthetische Schläuche können „endlos“ hergestellt und eingebaut werden (Böschungsschutz an Flussufern und Küsten, als Deiche in Gezeitenmarken für die Landgewinnung, als Buhnenkerne und Längsdeiche sowie in vielen anderen Wasserbauten). Für diese Anwendungen werden die geosynthetischen Schläuche hydraulisch mit Sand gefüllt.

Eine neuere Anwendung von schlauchförmigen Geotextilien auf weichem Untergrund sind geokunststoffummantelte Säulen (rundgewebt), die mit Sand gefüllt sind (Bild 8, [22], [23], [24]). Damit kann die Last der darüber gebauten Struktur in eine tiefer gelegene Tragschicht abgeleitet werden. Insbesondere können durch die nahtlose Struktur hohe Ringzugkräfte aufgenommen werden. Die „Sandsäule“ wirkt außerdem als Vertikaldränage.

Bild 1.8: Geosynthetischer Schlauch als Flüssigkeitstank (Foto: BRADLEY, [2])

Bild 1.9: Einbau von Geokunststoffummantelten Säulen

2. Wissenschaflich-technische Ergebnisse

2.1 Untersuchungen zu detaillierten Anforderungsprofilen an den textilen Verbundstoff und die Container nach Anwendungsgebiet[1]

2.1.1 Geokunststoffe im Wasserbau und in der Geotechnik - Allgemeines[2]

Die Erstanwendung von geotextilen Sandcontainern geht auf das Jahr 1955 zurück (Deichschlussmaßnahmen in den Niederlanden und Deutschland). Die ersten Empfehlungen des 1972 gegründeten Arbeitskreises AK14 "Kunststoffe im Erd- und Wasserbau" der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. (heute DGGT e.V.) wurden zusammen mit dem damaligen Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) e.V. (heute: DWA) in den Jahren 1975 „Grundlagen“, 1979 „Kunststoff-Dichtungsbahnen“ und 1982 „geotextile Filter“ und „Anwendungsbeispiele“ veröffentlicht. 1989 wurde vom DVWK erstmalig eine Empfehlung "Anwendung und Prüfung von Kunststoffen im Erdbau und Wasserbaus" als Empfehlung des AK 14 herausgegeben und die Funktionen Filtern, Trennen, Dränen, Schützen, Dichten, Bewehren und Verpacken, einschließlich Rohstoffkunde, Bauweisen und Prüfmethoden umfassend und fachübergreifend, d. h. für Anwendungen im Deponie-, Wasser-, Verkehrswegebau behandelt DVWK (1986).

Seit 1989 hat die Geokunststoff-Technologie eine rasante Entwicklung hinsichtlich Bauweisen und Produkttechnologie durchlaufen. Getrennt nach Fachbereichen wurde eine große Anzahl von deutschsprachigen Empfehlungen und Regelwerken für eine Vielfalt von Anforderungen erarbeitet und neue Forschungsfelder erschlossen. Die früher in Frage gestellte Funktionsdauer von Geokunststoffen wird heute an der Funktionsdauer der zu planenden Bauwerke gemessen. Für PEHD-Dichtungsbahnen, Dränsysteme und Bentonitmatten mit Nachweisen zur Eignung für Deponien wurden Funktionsdauern von deutlich mehr als 100 Jahren nachgewiesen. Die bemessungsrelevanten Einflüsse auf das Langzeitverhalten in Abhängigkeit von der Funktion sind erfasst und in den Regelwerken berücksichtigt.

Im Grundbautaschenbuch Teil 2, 6. Auflage 2001, Abschnitt "Geokunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau (Autoren: Saathoff & Zitscher) werden folgende Voraussetzungen bei Einsatz geotextiler Container mit einem Füllvolumen von z.B. 1m^3 (Abmessungen ca. 1,30 m × 2,65 m) empfohlen:

- Das Geotextil muss eine ausreichende Festigkeit / Robustheit für einen maschinellen Transport aufweisen. Als Erfahrungswert gilt eine Höchstzugfestigkeit ≥ 30 kN/m. Die Robustheit ist von u.a. vom Flächengewicht und der Höchstzugkraftdehnung) abhängig,
- Die Nähte sollten mindestens 80% der Festigkeit des Geotextils aufweisen,
- Nicht ausreichend UV-beständiges Material ist nur für einen befristeten Einsatz geeignet.

Eine Auswahl der für den Erd- und Wasserbau relevanten Regelwerke für geotextile Filter, Bentonitmatten, Kunststoffdichtungsbahnen, Geogitter, Dränmatten, Erosionsschutzsysteme und geotextile Sandcontainer ist in Tab. 1 zusammengestellt.

---

[1] Die Abschnitte 2.1.1 bis 2.1.3 wurden maßgeblich erarbeitet durch Frau Dipl.-Ing. Katja Werth (BBG, Fa. NAUE).

[2] s.a. Abschnitt 2.4.1

Tab. 2.1: Übersicht über die Regelwerke zur Anwendung von Geokunststoffen im Erd- und Wasserbau

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Merkblatt zur Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG, 1993)
Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte (TLG, 2003),
Richtlinien für die Prüfung von geotextilen Filtern im Verkehrswasserbau (RPG, 1994), BAW Karlsruhe
Empfehlungen zur Anwendung von Oberflächendichtungen an Sohle und Böschung von Wasserstraßen (EAO, 2001)
Richtlinien für die Prüfung von mineralischen Weichdichtungen im Verkehrswasserbau (RPW, 2006)
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA)
Themenheft: Dichtungssysteme in Deichen (2005)
Dichtungssysteme im Wasserbau, Heft 215 (1990), in Überarbeitung
Anwendung von Geotextilien im Wasserbau, Heft 221 (1992)
Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT)
EBGEO: Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen (1997), in Überarbeitung
EAG-GTD: Empfehlungen zur Anwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen (2002)
EAG-Con: Empfehlungen zur Anwendung geotextiler Container, in Vorbereitung
EAG-Drän: Empfehlungen zur Anwendung geotextiler Dränsysteme, in Vorbereitung
EAK: Empfehlungen für Küstenschutzbauwerke (2002)
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)
M Geok E: Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus (2005)
TL Geok E-StB: Technische Lieferbedingungen für Geokunststoffe im Erdbau des Straßenbaus (2005)

2.1.2 Filterwirksamkeit der Geotextilien

Der Einsatz von Vliesstoffen als Umhüllung weist Vorteile hinsichtlich der Filterwirksamkeit auf (Bodenrückhaltevermögens bei gleichzeitiger hoher Wasserdurchlässigkeit). In Analogie zur Kornfiltertechnologie bieten Vliesstoffe aufgrund ihrer Dicke und des hohen Porenvolumens (90%) optimale Randbedingungen für ein gewünschte Tiefenfiltration.

Bei der Anwendung von geotextilen Filtern sind zwei gegenläufige Eigenschaften nachzuweisen, die in der Bemessung durch eine mechanische Filterfestigkeit (Bodenrückhaltevermögen) und durch eine hydraulische Filterwirksamkeit (druckfreie Wasserableitung, d.h. kleine hydraulische Gradienten) berücksichtigt werden. Vorliegend werden die Filterregeln nach DVWK (1992) herangezogen.

Das Maß des Bodenrückhaltevermögens ist durch die wirksame Öffnungsweite $O_{90,W}$ [mm] gekennzeichnet und definiert die Korngröße, die in einem Nasssiebverfahren zu 90% von einem Geotextil zurückgehalten und zu 10% hindurchgespült wird. Die wirksame Öffnungsweite, das Verfahren zu deren Definition und die Filterregeln zur mechanischen Festigkeit bilden zusammen eine aufeinander abgestimmte Einheit. Für einen Nachweis der Filterwirksamkeit des gewählten Vliesstoffes gegenüber Boden sind objektbezogene Körnungsbänder heranzuziehen. An diesen ist aufzuzeigen, ob der Boden im Problembereich einer hohen Einzelkornmobiliät liegen, d.h. eine erhöhte Neigung zum Ausspülen von Feinteilen besteht.

Für die Beurteilung der hydraulischen Filterwirksamkeit und einer möglichst druckverlustarmen Entwässerung muss der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k_v des Geotextils unter einer Normalspannung von 2 kPa – multipliziert mit einem Abminderungsfaktor η_v – größer als der Durchlässigkeitsbeiwert k_f des anstehenden Bodens sein. Es muss gelten:

$$\eta_v \cdot k_v > k$$

Die Bemessungsdiagramme zur Bestimmung des Abminderungsfaktors sind im DVWK-Merkblatt 221 angegeben. Im Zuge der Harmonisierung Europäischer Normen wird heute der Durchlässigkeitsbeiwert nach DIN EN ISO 11058 als VI_{H50}-Index ermittelt. Eine Umrechnung ergibt sich als Richtwert über $k_V = VI_{H50} \times d / \Delta h$ mit d = Dicke [mm] und Δh = 50 mm (Druckhöhe im Versuch). Die Filterkriterien nach FGSV (2005): Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues M Geok E sind in Abb. 1 aufgeführt.

Im Grundbautaschenbuch Teil 2, 6. Auflage 2001, Abschnitt "Geokunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau (Autoren: Saathoff & Zitscher) wird durch M. Heibaum, Bundesanstalt für Wasserbau, in Abschnitt 3.1.6 "geotextile Container und Schläuche" wie folgt zitiert:

"*Gewebe bieten den Vorteil hoher Zugfestigkeit, jedoch wirken sie wie ein Sieb und nicht wie ein Kornfilter mit dreidimensionalem Porenraum. Sind außerdem Kette und Schuss nicht an ihren Kreuzungspunkten fixiert, besteht die Gefahr des Verschiebens, so dass größere Öffnungen entstehen, die den Bodenrückhalt an dieser Stelle nicht gewährleisten. Ein Vliesstoff bietet als Filterstrecke den Porenraum eines Wirrgeleges, wodurch Fließvorgänge im Filter in der dritten Dimension möglich werden. Dieser Effekt ist umso ausgeprägter, je dicker die geotextile Filterschicht ist. Eine ausreichend hohe Festigkeit ist mit heutiger Technik auch bei Vliesstoffen erreichbar*." (Zitat-Ende).

Tab. 2.2: Kriterien zur Bestimmung der mechanischen und hydraulischen Filterwirksamkeit nach FGSV (M Geok E, 2005) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, 2005

Hydraulischer Sicherheitsfall		
I	**II**	**III**
Geringe Wassermengen, einseitige Anströmung und geringes hydraulisches Gefälle	Geringe wechselseitige Anströmungen, mittlere einseitige Anströmungen des Geotextils	Einseitige konzentrierte Anströmungen und großflächige wechselseitige Anströmungen mit einhergehendem hohem Wasseranfall
Mechanische Filterwirksamkeit – Öffnungsweite (gew O_{90}) [mm]		
Vliesstoffe: 0,06 mm ≤ gew O_{90} ≤ 0,2 mm Gewebe: Bemessung erforderlich!	Kohäsive Böden: 0,06 mm ≤ gew O_{90} ≤ 0,20 mm Grobschluff bis Feinsand[1]: 0,06 mm ≤ gew O_{90} ≤ 0,11 mm Feinsand[2]: 0,06 mm ≤ gew O_{90} ≤ 0,13 mm Mittelsand[3]: 0,08 mm ≤ gew O_{90} ≤ 0,30 mm Grobsand[4]: 0,12 mm ≤ gew O_{90} ≤ 0,60 mm **Anmerkung:** Der Boden ist auf Erosionsstabilität und auf Suffossionssicherheit zu untersuchen (filtertechnisch schwieriger Boden). Sind diese nicht gegeben, wird wie beim *Sicherheitsfall III* vorgegangen, außer der kritische Boden steht bei inhomogenen Verhältnissen nur örtlich begrenzt an und ist nicht systembestimmend	Analyse der hydraulischen Bedingungen und daraus eine Filterdimensionierung im Einzelfall durch Sachverständige durchführen (siehe DVWK-Merkblatt 221)
Hydraulische Filterwirksamkeit – Wasserdurchlässigkeit		
Der Filter muss im eingebauten Zustand auf Dauer mind. die Wasserdurchlässigkeit des zu entwässernden Bodens aufweisen, damit ein Rückstau vermieden wird. Diese Bedingung kann als erfüllt angesehen werden, wenn der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert $k_{V,\,5\%}$ des Geotextils (Neumaterial) größer als der des zu entwässernden Bodens k_f ist ($k_{V,\,5\%} > k_f$) und mind. $k_{V,\,5\%} = 1 \times 10^{-4}$ [m/s] beträgt.		

[1] Grobschluff gU bis Feinsand fS, Korngrößenbereich über 0,02 mm bis 0,06 mm
[2] Feinsand fS, Korngrößenbereich über 0,06 mm bis 0,2 mm
[3] Mittelsand mS, Korngrößenbereich über 0,2 mm bis 0,6 mm
[4] Grobsand gS, Korngrößenbereich über 0,6 mm bis 2,0 mm

2.1.3 Stabilität von geotextilen Sandcontainern (Wasserbau)

Nach [28] kann die Stabilität von geotextilen Containern unter Strömungsbelastung in Abhängigkeit vom erforderlichen Füllvolumen (Abmessungen) wie folgt ermittelt werden:

$$\frac{u_{cr}}{\sqrt{(g \cdot \Delta_t \cdot D)}} \approx 1{,}2$$

mit u_{cr}= kritische Strömungsgeschwindigkeit in m/s; D = (Volumen)$^{1/3}$, g = Erdbeschleunigung und Δ_t = relative Dichte

Die neuesten umfangreichen Untersuchungen zum Stabilitätsverhalten von geotextilen Sandcontainern für Küstenschutzbauwerke wurden in [29] veröffentlicht. Für verschiedene Anwendungen, z.B. als Sandcontainer als Einzelement an der Sohle, in Gruppenformation an der Sohle (Sohlensicherung), als Element eines künstlichen Riffes oder als Schutzelement einer Dünensicherung (Böschung mit Wellenauflauf) wurden Stabilitätsgleichungen auf Basis von umfangreichen Modellversuchen zum Widerstandsverhalten bei den beiden "Bewegungssituationen" Gleiten und Kippen in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit, Reibungsverhalten, relative Dichte (Füllrate), Reynolds-Zahl entwickelt. Eine Anpassung mit dem numerischen Modell "Cobras" bietet eine verifizierte Möglichkeit zur Nachbildung und Simulation des Stabilitätsverhaltens. Oumeraci & Recio [29] empfehlen einen Füllgrad von 95% bei Einsatz von Sandcontainern aus mechanisch verfestigten Vliesstoffen. Aus den o.g. umfangreichen Studien lässt sich unter Berücksichtigung der vorgesehenen Anwendung die erforderlichen Abmessungen eines Sandcontainers ermitteln, wodurch eine maßgebende Kenntnislücke bei der Dimensionierung von Sandcontainer-Bauweisen geschlossen wird.

Gleichzeitig wurde in Modellversuchen zur Stabilität von geotextilen Sandcontainern als Kolkschutz für Offshore-Windkraftanlagen festgestellt, dass je höher die Füllrate ist, desto besser ist das Widerstandsverhalten gegen Umlagerung des Sandcontainers [30]. Alle Untersuchungen wurden mit Sandcontainern aus mechanisch verfestigten Vliesstoffen durchgeführt.

Des Weiteren erfolgten im Rahmen des Forschungszentrums Küste weitere Publikationen zum Stabilitätsverhalten geotextiler Sandcontainer [31] bis [34].

2.1.4 Vorbetrachtungen zu den technischen Anforderungen

Aus Untersuchungen zu den spezifischen Anforderungsprofilen an den textilen Verbundstoff und die Container nach den Anwendungsgebieten ist Folgendes zu beachten:

Die Bedingungen der im Projekt vorgesehenen Einsatzfälle unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich des Handlings. Ausgegangen wird dabei im Projekt von Anwendungen der Geocontainer

- in Geotechnik, Erd- und Verkehrswegebau,
- im Binnenwasserbau (ohne Tideeinfluss),
- im Küstenschutz (mit Tideeinfluss bzw. unter Seegangsbedingungen).

Wichtig ist der Kostenfaktor. Derzeit werden im Verkehrswege-/Straßenbau noch keine Container eingesetzt. Für dieses Einsatzgebiet können mehrere Containergrößen in Betracht gezogen werden, aus Bau- und Kostengründen wird aber auf ein möglichst großes Volumen orientiert (1 bis 1,5 m³); der Füllgrad ist mit ca. 80% anzusetzen; als Richtwert für die Dehnung als grobe Vorabschätzung wird auf Grund der derzeitigen Erkenntnisse von ca. 40 % ausgegangen.

Wesentliche Aspekte sind Umweltschutz sowie Einpassung in die Landschaftsgestaltung (z. B. Aspekt der Begrünbarkeit in bestimmten Anwendungsfällen). Eine Quaderform der Container bringt Vorteile beim Einbau, allerdings sind Konfektionsaufwand, Zuschnittoptimierung, Schnittabfall usw. zu beachten.

Im Wasserbau ist eine schnelle Durchfeuchtung des Containers notwendig (Positionierung!). Für eine gute Schmiegsamkeit sollte der Vliesstoff genügend dehnbar sein. Derzeit wird mit Dehnungen von ca. 60 bis 70 % gearbeitet. Bei Kombination mit Gitter- und Klettstrukturen ergeben sich möglicherweise veränderte Bedingungen entsprechend der Dehnbarkeit der Ausgangsmaterialien.

Die Beanspruchungen beim Einbau (z. B. Einsatz von Rundgreifern) erfordern eine hohe Reißfestigkeit und Robustheit des Materials. Bei der Container-Konstruktion ist zu berücksichtigen, dass die Nähte eine Schwachstelle darstellen. Im Wasserbau wird zum gegenwärtigen Stand ein Fassungsvermögen von 0,5 bis 1 m³ als Vorzugsgröße angesehen.

Wesentlich ist es, geeignete Klettelemente einzusetzen. Dabei sind die unterschiedlichen Bedingungen hinsichtlich Feuchtigkeit, Körnung des Sandes usw. zu berücksichtigen und in Voruntersuchungen einzuschätzen.

2.2 Entwicklung hochfester textiler Strukturen mit Kletteigenschaften

2.2.1 Versuche zur Vliesstoffentwicklung[1]

- Vorversuche

In einer ersten Versuchsreihe zur Entwicklung von Vliesstoffvarianten sollten verschiedene Produktionsparameter wie Produktionsgeschwindigkeit, Hubzahl und Einstichdichte variiert und angepasst werden, um möglichst unterschiedliche Oberflächen der Vliesstoffe zu erzielen. Weiterhin sollten Vliesstoffe mit unterschiedlichen Massen erstellt werden.

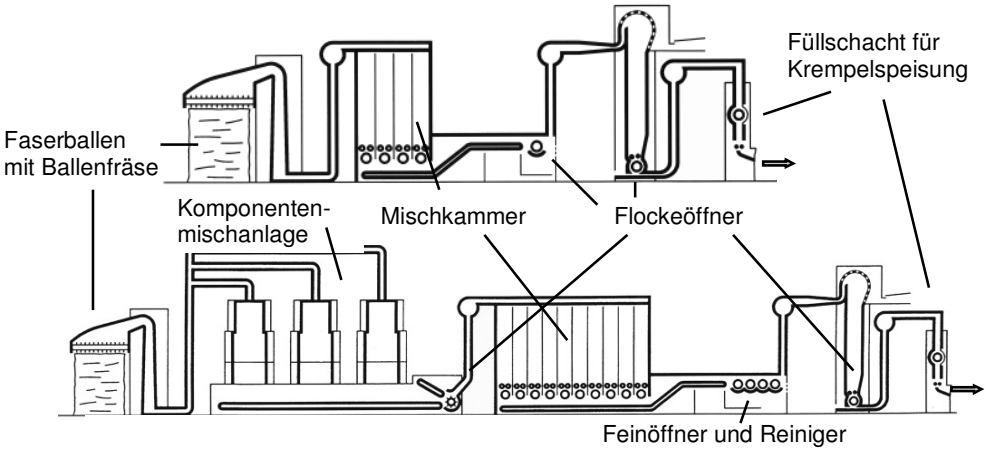


Bild 2.2.1.1: Schematische Darstellung der mechanischen Vliesbildung, Faservorbereitung durch Mischen und Öffnen (Bsp. Fa. Trützschler)

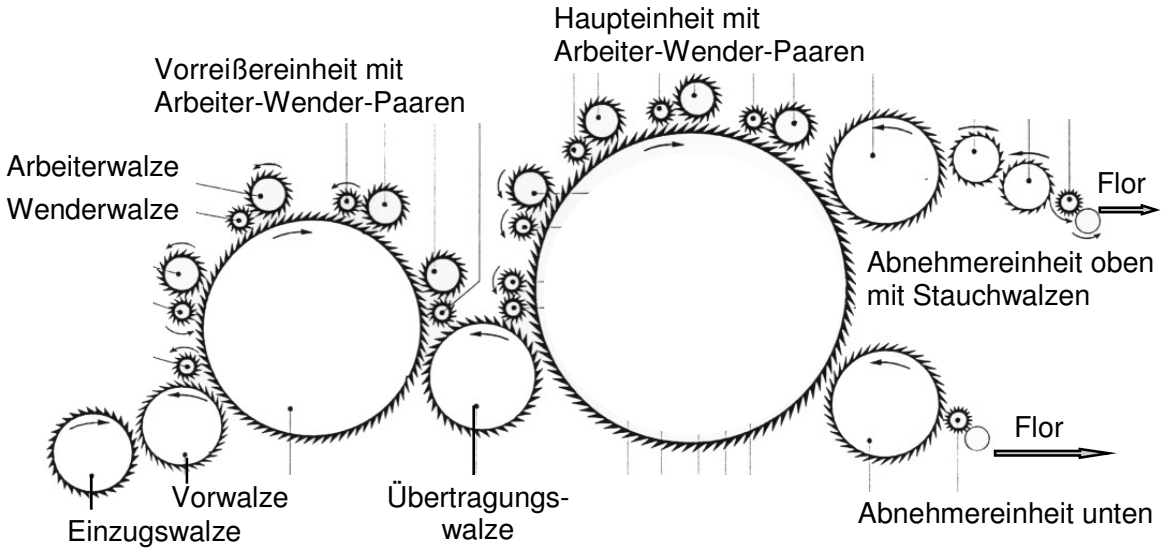


Bild 2.2.1.2: Schematische Darstellung der mechanischen Vliesbildung: Krempel (Bsp. Fa. Spinnbau)

[1] Abschnitt 2.2.1 wurde maßgeblich durch die Fa. Naue erarbeitet

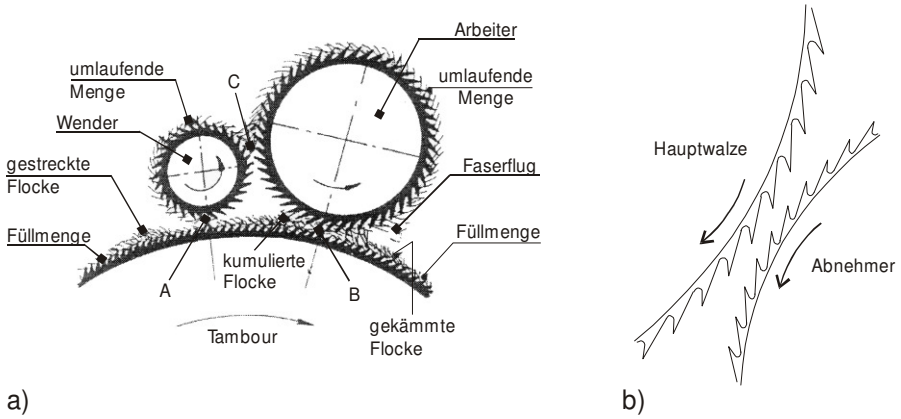


Bild 2.2.1.3: Schematische Darstellung der mechanischen Vliesbildung, Kardierprinzip

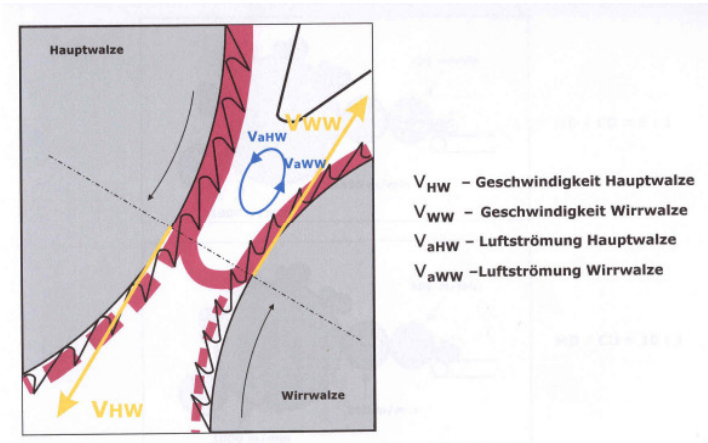
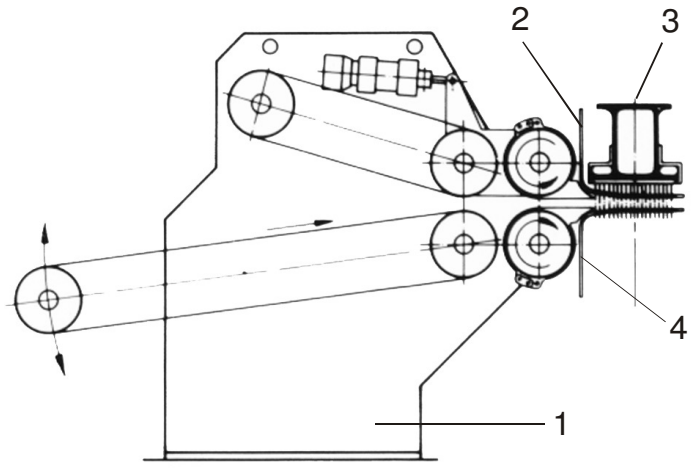


Bild 2.2.1.4: Mechanische Vliesbildung, Kardierprinzip, Faserübergabe



1 Zuführsystem
2 Niederhalter
3 Nadelbalken
4 Stichplatte

Bild 2.2.1.5: Schematische Darstellung der mechanischen Vliesverfestigung, Vernadelungsverfahren

Orientierend wurden zwei kleine Vorversuche durchgeführt, auf Basis derer die

weiteren Versuche definiert werden sollten. Für die Erstellung der Vliesstoffe wurden für die Vorversuche PP-Fasern mit folgenden Eigenschaften eingesetzt:

Secutex	**351 GRK 5**	**Secutex R 601**
Faserfeinheit:	5,85 dtex	5,79 dtex

Der Vliesstoff Secutex R 601 wurde an der Krempelstraße K1, der Vliesstoff Secutex 351 GRK 5 an der Krempelstraße K6 hergestellt (beide im Werk Espelkamp – Fiestel). Von beiden Materialien wurde eine Menge von ca. 50 m² gefertigt.

Die wesentlichen Parameter der Vernadelung waren die folgenden:

		Secutex 351 GRK 5	**Secutex R 601**
-	Nadeltype, 1. NM	Felting 15x18x32x3,5	Felting 15x18x32x3,5
-	Nadeltype, 2. NM	Felting 15x18x36x3	Felting 15x18x36x3
-	Einstichdichte, 1. NM	58 cm²	108 cm²
-	Einstichdichte, 2. NM	66 cm²	85 cm²

Die technischen Parameter der erstellten Vliesstoffe sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 2.3: Vliesstoffparameter

		Secutex 351 GRK 5	**Secutex R 601**
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	351 g/m²	590 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	4,2 mm	5,4 mm
Zugfestigkeit (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	15,6 kN/m	28,8 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	95 %	124 %
Zugfestigkeit (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	36,5 kN/m	68,6 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	48,9 %	68,6 %
Stempeldurchdrückkraft	DIN EN ISO 12236	4,7 kN	7,4 kN

Beide Materialien (jeweils 30-50 m²) wurden im STFI für Verarbeitungsversuche eingesetzt.

Auf Basis dieser Vorversuche wurden die Vorgaben für die weiteren Versuche festgelegt und an der Krempelstraße K6 weitere Versuchsmuster hergestellt. Hierbei stand im Vordergrund, unterschiedliche Massen und unterschiedliche Vernadelungs-

dichten zu erzielen. Des Weiteren wurden die Oberflächen der Containeraußenseite unterschiedlich hinsichtlich der Flauschigkeit gestaltet(Kletteigenschaften!). Hierzu s. Bild 2.2.1.6 bis 8.

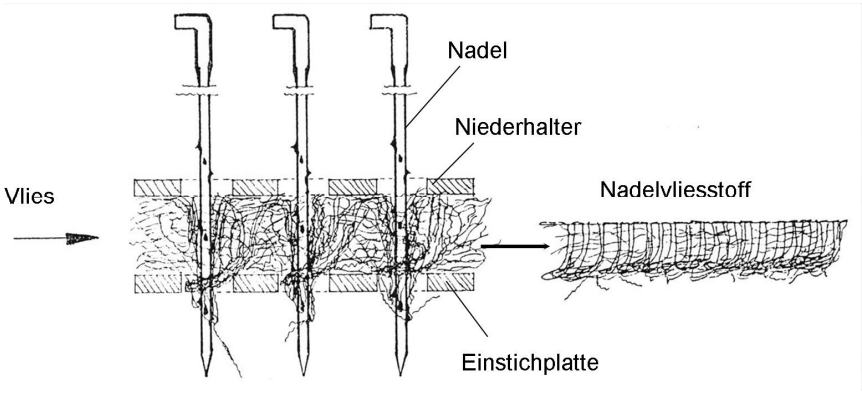


Bild 2.2.1.6: Prinzip der mechanische Vliesverfestigung: Vernadelungsverfahren – feste Oberfläche

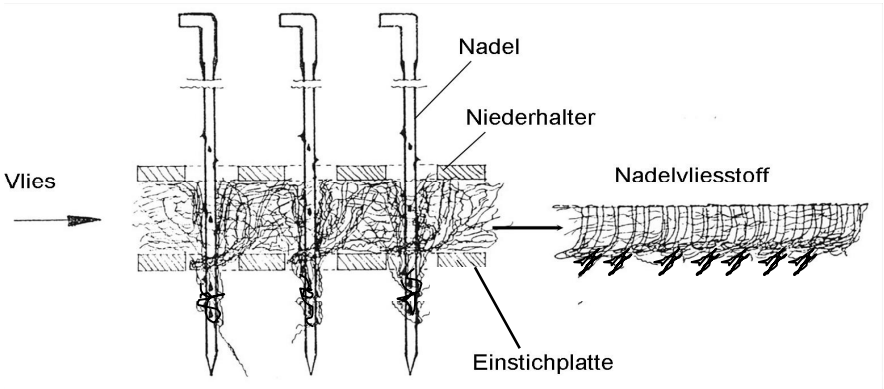


Bild 2.2.1.7: Prinzip der mechanischen Vliesverfestigung: Vernadelungsverfahren – flauschige Oberfläche

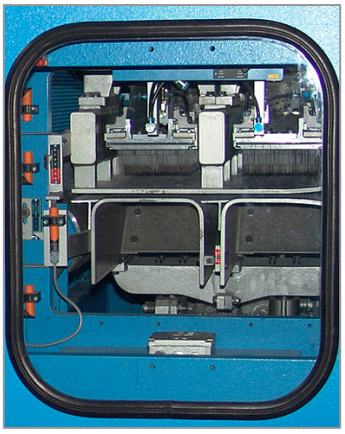


Bild 2.2.1.8: Vernadelungszone (Bsp. Maschine Fa. Dilo)

Es wurden Vliesstoffe mit insgesamt drei verschiedene Flächenmassen (Soll = 200 g/m², 300 g/m² und 500 g/m²) und mit jeweils bis zu drei verschiedenen Vernadelungsdichten je Flächenmasse hergestellt. Für alle Vliesstoffe wurde eine Faserfeinheit von 6,49 dtex verwendet. Hergestellte Menge je Vliesstoffvariante: ca. 290 m².

Muster 1 "300 g/m², sehr flauschig"

Wesentliche Parameter der Vernadelung:

- Nadeltype, 1. NM — Felting 15x18x32x3,5
- Nadeltype, 2. NM — Felting 15x18x36x3
- Einstichdichte, 1. NM — 84 cm²
- Einstichdichte, 2. NM — 40 cm²

Die technischen Parameter des erstellten Vliesstoffs sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 2.4: Übersicht zu den Vliesstoffparametern, Muster 1

		Muster 1
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	283 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	4,8 mm
Zugfestigkeit (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	9,7 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	103 %
Zugfestigkeit (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	10,9 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	50 %
Stempeldurchdrückkraft	DIN EN ISO 12236	2,4 kN

Muster 2 "300 g/m², flauschig"

Wesentliche Parameter der Vernadelung:

- Nadeltype, 1. NM — Felting 15x18x32x3,5
- Nadeltype, 2. NM — Felting 15x18x36x3
- Einstichdichte, 1. NM — 115 cm²
- Einstichdichte, 2. NM — 55 cm²

Die technischen Parameter des erstellten Vliesstoffs sind in Tabelle 2.5 enthalten:

Tabelle 2.5: Übersicht zu den Vliesstoffparametern, Muster 2

		Muster 2
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	303 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	4,6 mm
Zugfestigkeit (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	12,5 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	95 %
Zugfestigkeit (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	21,4 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	53 %
Stempeldurchdrückkraft	DIN EN ISO 12236	3,2 kN

Muster 3 "200 g/m², sehr flauschig"

Wesentliche Parameter der Vernadelung:

- Nadeltype, 1. NM — Felting 15x18x32x3,5
- Nadeltype, 2. NM — Felting 15x18x36x3
- Einstichdichte, 1. NM — 75 cm²
- Einstichdichte, 2. NM — 40 cm²

Die technischen Parameter des erstellten Vliesstoffs sind in Tabelle 2.6 zusammengestellt.

Tabelle 2.6: Übersicht zu den Vliesstoffparametern Muster 3

		Muster 3
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	220 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	3,9 mm
Zugfestigkeit (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	4,2 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	109 %
Zugfestigkeit (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	7,3 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	60 %
Stempeldurchdrückkraft	DIN EN ISO 12236	1,5 kN

Muster 4 "200 g/m², flauschig"

Wesentliche Parameter der Vernadelung:

- Nadeltype, 1. NM — Felting 15x18x32x3,5
- Nadeltype, 2. NM — Felting 15x18x36x3
- Einstichdichte, 1. NM — 95 cm²
- Einstichdichte, 2. NM — 75 cm²

Die technischen Parameter des erstellten Vliesstoffs sind in Tabelle 2.7 enthalten:

Tabelle 2.7: Übersicht zu den Vliesstoffparametern, Muster 4

		Muster 4
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	234 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	4,2 mm
Zugfestigkeit (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	8,3 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	101 %
Zugfestigkeit (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	12,0 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	60 %
Stempeldurchdrückkraft	DIN EN ISO 12236	2,3 kN

Muster 7 "200 g/m², fest vernadelt"

Wesentliche Parameter der Vernadelung:

- Nadeltype, 1. NM — Felting 15x18x32x3,5
- Nadeltype, 2. NM — Felting 15x18x36x3
- Einstichdichte, 1. NM — 105 cm²
- Einstichdichte, 2. NM — 85 cm²

Technische Parameter des Vliesstoffs siehe folgende Tabelle.

Tabelle 2.8: Übersicht zu den Vliesstoffparametern, Muster 7

		Muster 7
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	186 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	3,2 mm
Zugfestigkeit (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	7,3 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	92 %
Zugfestigkeit (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	13,4 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	68 %
Stempeldurchdrückkraft	DIN EN ISO 12236	2,9 kN

Muster 5 "500 g/m², flauschig"

Wesentliche Parameter der Vernadelung:

- Nadeltype, 1. NM — Felting 15x18x32x3,5
- Nadeltype, 2. NM — Felting 15x18x36x3
- Einstichdichte, 1. NM — 120 cm²
- Einstichdichte, 2. NM — 75 cm²

Tabelle 2.9 enthält die technischen Parameter des erstellten Vliesstoffs Muster 5.

Tabelle 2.9: Übersicht zu den Vliesstoffparametern, Muster 5

		Muster 5
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	515 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	6,2 mm
Zugfestigkeit (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	21,4 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	101 %
Zugfestigkeit (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	52,5 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Quer zur Prod.richt.)	DIN EN ISO 10319	57 %
Stempeldurchdrückkraft	DIN EN ISO 12236	7,3 kN

Muster 6 "500 g/m², fest vernadelt"

Wesentliche Parameter der Vernadelung:

- Nadeltype, 1. NM — Felting 15x18x32x3,5
- Nadeltype, 2. NM — Felting 15x18x36x3
- Einstichdichte, 1. NM — 170 cm²
- Einstichdichte, 2. NM — 105 cm²

Die technischen Parameter des erstellten Vliesstoffs sind Tabelle 2.10 zu entnehmen.

Tabelle 2.10: Übersicht zu den Vliesstoffparametern, Muster 6

		Muster 6
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	495 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	5,1 mm
Zugfestigkeit (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	25,0 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	105 %
Zugfestigkeit (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	54,7 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Quer zur Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	62 %
Stempeldurchdrückkraft	DIN EN ISO 12236	7,0 kN

Mit aus den Versuchen ausgewählten Vliesstoffmustern aus den Versuchreihen bei Fa. NAUE wurden im STFI textilphysikalische Prüfungen sowie Handversuche zu den Hafteigenschaften durchgeführt.

Mit der Firma E&M wurden durch STFI erste Schneidversuche und auf der Vliesraschelmaschine RS3 MSUS-V des STFI Vorversuche unter Variation von Material und geometrischen Parametern durchgeführt. In Zusammenarbeit mit der Fa. Gottlieb Binder GmbH & Co KG und den weiteren Forschungspartnern wurde die Microplast®-Klettfolie Typ 025 445 für die weiteren Arbeiten ausgewählt.

Weitergehende Untersuchungen zum Haftverhalten erfolgten auf Klein- sowie Großrahmenschergeräten der Universität Kassel (siehe Abschnitt 2.4.3.2). Anhand

der Prüfergebnisse wurden die Hafteigenschaften unterschiedlicher Textilmuster bewertet und Vorzugsvarianten für die weiteren Arbeiten ausgewählt.

- Versuche zur Vliesstoffentwicklung (Feldtests)

Parallel zu den vorbereitenden Arbeiten zur Erprobung der stapelbaren Container in Projekten im Küstenwasserbau wurden bei Fa. NAUE umfangreiche Versuchsmengen an Vliesstoffrollen hergestellt. Als Grundlage für die Festlegung der technischen Parameter dienten die Erkenntnisse der Vorversuche zur Verarbeitung sowie Labortests bei den verschiedenen Partnern (STFI, Flexitex, UNI Kassel).

Als erste Variante für die Feldtests wurden der Krempelstraße K6 insgesamt 46 Vliesstoffrollen erstellt. Der Vliesstoff wurde von einer Seite mit der Standardeinstellung, von der anderen Seite weniger stark vernadelt, um eine besonders flauschige und hoch klettfähige Oberfläche Containeraußenseite zu erreichen. Die Ware wurde in einer Breite von 6,20 m produziert und im Anschluss auf Grund der Arbeitsbreie des Nähwirkmaschinen-Vresuchsstandes im STFI auf eine Breite von 0,68 m geschnitten. Für die Produktion der Vliesstoffe wurde die Faserfeinheit 5,77 dtex eingesetzt.

Wesentliche Parameter der Vernadelung:

- Nadeltype, 1. NM — Felting 15x18x32x3,5
- Nadeltype, 2. NM — Felting 15x18x36x3
- Einstichdichte, 1. NM — 225 cm²
- Einstichdichte, 2. NM — 83 cm²

Die technischen Parameter der erstellten Rollen sind Tabelle 2.11 zu entnehmen.

Die produzierten Mengen wurden in Kooperation von STFI und Flexitex zu Containern (mit und ohne Klettbändern) verarbeitet und in den Feldversuchen getestet (erster Feldtest Fa. Colcrete- von Essen, Nordenham, siehe auch Abschnitt 2.5).

Tabelle 2.11: Übersicht zu den Vliesstoffparametern der Einzelrollen, Muster für Feldtest Blexen/Nordenham

	Rollennummer	**13167615-623**
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	585 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	5,0 mm
Zugfestigkeit (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	29,7 kN/m
Zugfestigkeitsdehnung (Produktionsrichtung)	DIN EN ISO 10319	107 %
	Rollennummer	**13167624-632**
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	596 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	5,4 mm
	Rollennummer	**13167633-641**
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	607 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	6,0 mm
	Rollennummer	**13167642-650**
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	596 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	6,5 mm
	Rollennummer	**13167651-659**
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	605 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	6,3 mm

In Auswertung der Ergebnisse des Feldtests in Nordenham (siehe dort) wurden zur Erprobung der stapelbaren Container im Küstenwasserbau (Fa. Hirdes, s. Abschnitt 2.5.2) und in Geotechnik / Erdbau (WITTFELD GmbH) bei der Fa. NAUE weitere Versuchmengen an Vliesstoffrollen produziert (Krempelstraße K6, insgesamt 6 Vliesstoffrollen). Der Vliesstoff wurde von einer Seite mit der Standardeinstellung, von der anderen Seite weniger stark vernadelt.

Die Ware wurde direkt in einer Breite von 0,69 m x 106 m Länge produziert.

Für die Produktion dieser Rollen wurde die Faserqualität 6,12dtex verwendet.

Wesentliche Parameter der Vernadelung:

- Nadeltype, 1. NM — Felting 15x18x32x3,5
- Nadeltype, 2. NM — Felting 15x18x36x3
- Einstichdichte, 1. NM — 110 cm²
- Einstichdichte, 2. NM — 85 cm²

Die technischen Parameter der erstellten Rollen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 2.12: Parameter der optimierten Vliesstoffmuster

	Rollennummer	**13169365-73**
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	599 g/m²
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	6,2 mm

Die produzierten Mengen wurden in Kooperation von STFI und Flexitex zu Containern (mit und ohne Klettbänder) für die Feldtests verarbeitet.

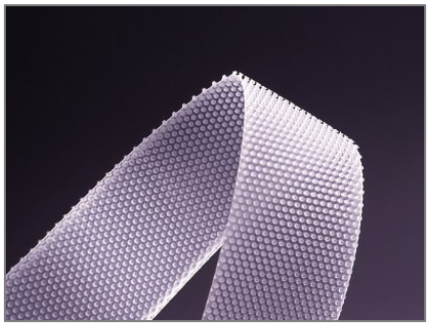
2.2.2. Entwicklung von Verbundstrukturen mit Kletteigenschaften (Maschentechnologien)[1]

2.2.2.1 Untersuchungen zur Herstellung der Klettfäden / Klettbändchen

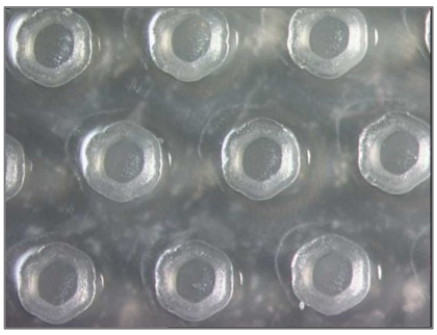
Der Aufbau des Haftverschlusses ist wesentlich für die erzeugte Haftkraft, die jedoch auch erheblich durch die Einsatzbedingungen beeinflusst wird (Feuchtigkeit, Verunreinigungen durch Sand, Erde usw.). Entsprechende Untersuchungen wurden durch die Universität Kassel durchgeführt (s. Abschnitt 2.4).

Ziel war, die haftende Verbindung durch eine Kombination aus Vliesstoff mit flauschiger Oberfläche und Klettstreifen zu erreichen. Dabei wurde Material mit unterschiedlicher Oberflächenstruktur untersucht (Art der Klettelemente, Anzahl der Elemente/Fläche usw.). Die Klettelemente unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich der Form (Häkchen, Pilz). Für die vorliegenden Anwendungen ist die Pilzform besser geeignet als die Häkchenform. Im Aufbau analoge Varianten zur Pilzform sind Microplast®-Folien. Das Prinzip beruht auf einer extrudierten Folie mit dreidimensionaler Microstruktur, die eine dünne und hoch flexible Verbindung ermöglicht (s. *http://www.binder.biz/range*). Tabelle 2.13 und Bilder 2.2.2.1 a bis c zeigen ausgewählte Varianten und Struktur.

a) Foliestreifen aus MICROPLAST®



b) Draufsicht



c) Klettelement, vergrößert

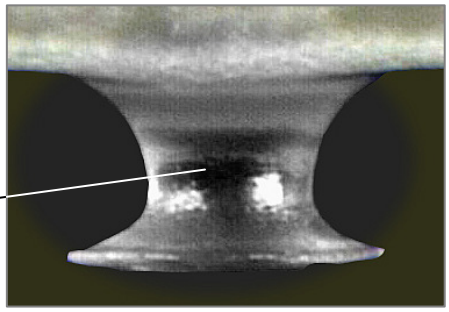
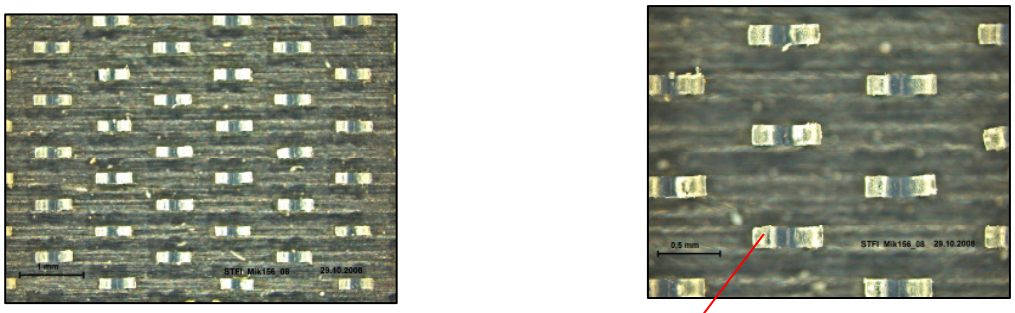


Bild 2.2.2.1: Muster *MICROPLAST®-Folie (Quelle: http://www.binder.biz/)*

[1] Abschnitt 2.2.2 wurde maßgeblich durch STFI erarbeitet

a) Folienseite mit Häkchen b) Folienseite mit Häkchen, vergrößert



c) Häkchen

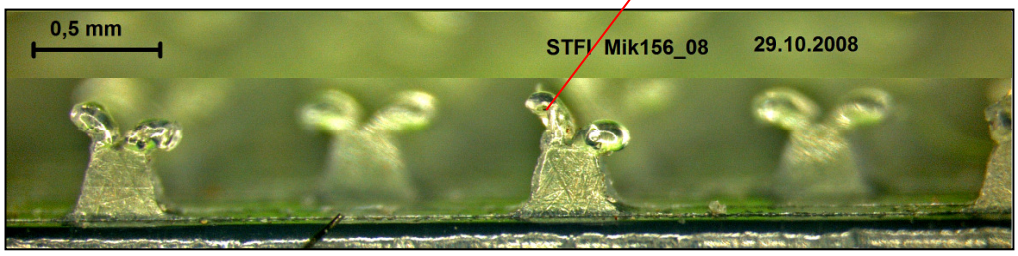


Bild 2.2.2.2: Klettband UM 866 (Velcro), Material Polypropylen

Tabelle 2.13: Angaben zu ausgewählten Klettfolievarianten (nach [35], [37])

Bezeich-nung	Folie Artikel-Nr.	Typ	Mate rial	Höhe Klett-element mm	Dicke in mm gesamt	Masse je Fläche in g/m²	Klettele-mente pro cm²	Bemerkung
Typ 1	65 445	Microplast® (Fa. Binder)	PP	0,15	0,35	135	288 hexagonal	Kürzere Klettelemente
Typ 2	25 445	Microplast®	PP[1)]	0,25	0,45	195	288 hexagonal	Standardmat. mit längeren Elementen
Typ 3	25 443	Microplast®	PA	0,19	0,35	170	342 eins.Pilze hexagonal	Material mit höherer Flexibilität
Typ 4	UM 866	Velcro ULTRA-MATE	PP	0,71	0,98		137 Hakenform Bild 2.2.2.2	Klettwirkung richtungs-abhängig
Typ 5	UM 866	Velcro ULTRA-MATE, 2 Streifen aufeinander geklebt	PP	0,71	1,96		137 Hakenform Bild 2.2.2.2	Klettwirkung richtungs-abhängig
Typ 6	25449	Microplast® Back-to-Back	PP	0,25	0,70	270	288 hexagonal	doppelseitig klet-tend
Typ 7	25 442	Microplast®	PP	0,43	0,68	225	56.Pilze einseitig hexagonal	wenige lange Klettelemente
Typ 8	CFM 42-3008	Velcro ULTRA-MATE, doppelseitig	PP		2,3		116 / 58 Hakenform Bild 2.2.2.2	richtungsabhän-gig, im Versuch schwer verarbeitbar

[1)] auch PE möglich (Artikel-Nr. 14445)

Die Microplast®-Verbindungselemente nach Tabelle 2.13 haben eine hexagonale Pilzform (s. Bild 2.2.2.1c). Die übliche Lieferbreite dieser Microplast®-Klettfolierollen beträgt - angepasst an die bisherigen Einsatzgebiete - 410 mm bzw. 230 mm (Artikelnummer 25442). Standardmaterial ist Polypropylen, je nach Artikel werden auch Polyester und Polyamid angeboten.

Des Weiteren wurde die Verwendung eines höher flexiblen Microplast®-Klettbandes geprüft (Binder Microplast® 25443 aus PA). Scher- und Haftversuche mit Verbundstoffen unter Verwendung dieses Materials ergaben ein gutes Haftvermögen. Allerdings traten beim Prinzipversuch zur Verarbeitung Schädigungen durch den Einstich der Wirknadeln auf, was zur Verminderung der Zugfestigkeit der Klettbändchen führte.

In die Voruntersuchungen wurde außerdem Versuchsmaterial mit beidseitiger Anordnung von Klettelementen („back-to-back“) einbezogen, was erhebliche Vorteile hinsichtlich des Haftvermögens bringt. Dieses Material Microplast® (Back-to-Back) 70-2x-288-HX200-PP2 war zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung von der Herstellerfirma noch nicht in größeren Mengen verfügbar, soll jedoch zukünftig auf den Markt verfügbar sein.

Ein weiteres Klettmaterial (Velcro UM 866) mit anderer Form der Kletthäkchen zeigt Bild 2.2.2.2. Dieses Material ist im Gegensatz zum Material nach Bild 2.2.2.1 die der Haftkraft richtungsabhängig. Die beidseitige Variante war auf der Wirkmaschine schwer verarbeitbar.

Die breite Klettfolie wurde mithilfe einer Schneideinrichtung zu Klettstreifen geschnitten. Dabei wurden zwei unterschiedliche Schneideinrichtungen untersucht:

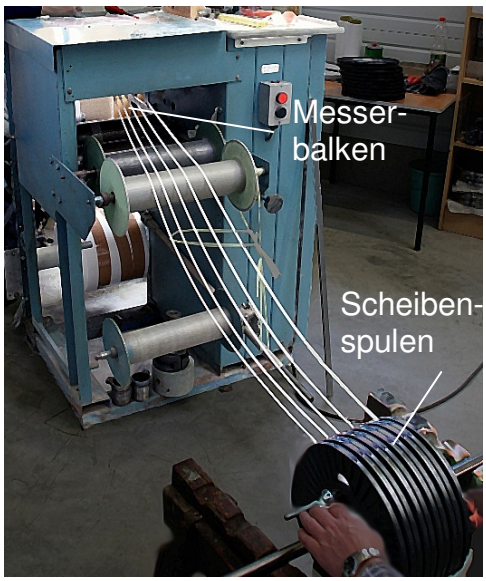
- Messerbalken
- Messerwalzen / Rundmesser

Für Microplast®-Folien erwiesen sich Messerbalken mit Klingen als gut geeignet. Bei größeren Foliedicken ist von Vorteil, wenn der Messerbalken eine gewisse Schwingbewegung in Umfangsrichtung ausführte (durch diese „Nickbewegung“ wird ein Ausweichen der Folie vermindert bzw. vermieden).

In Vorversuchen wurden Klingenabstände für Schnittbreiten von 1,4 mm, 2,0 mm, 3 mm, 5 mm, 6 mm und 8 mm untersucht. Breitere Streifen sind unproblematisch herzustellen. Die Bändchen können um so schmaler geschnitten werden, je dünner die Folie und je geringer der Schneidwiderstand ist (weiche Folie), bei dickeren Folien besteht die Gefahr, dass sich die Klingen (z. B. nach [41] bis [43]) verbiegen und die Schnittkanten verlaufen (bis zum Durchschneiden der Bändchen). Mit der Versuchseinrichtung konnten bei Microplast®-Folien Bändchenbreiten ab ca. 3,5 – 4 mm erreicht werden. Bei Bändchenbreiten unter 3,5 mm entstehen Probleme durch den engen Abstand der Schneidklingen.

Für das Anwendungsgebiet klettende geotextile Container war bei der Festlegung der Streifenbreite insbesondere die Verarbeitbarkeit der Klettbändchen auf der Textilmaschine zu beachten. Die verwendete Schneideinrichtung zeigt Bild 2.2.2.3.

a)



b)

a) Gesamtansicht Versuchsstand

b) Schneidmesser (Messerbalken) mit Schneidklingen und Halterung

Bild 2.2.2.3: Versuchsstand Schneideinrichtung zum Schneiden von Microplast®-Klettfolie

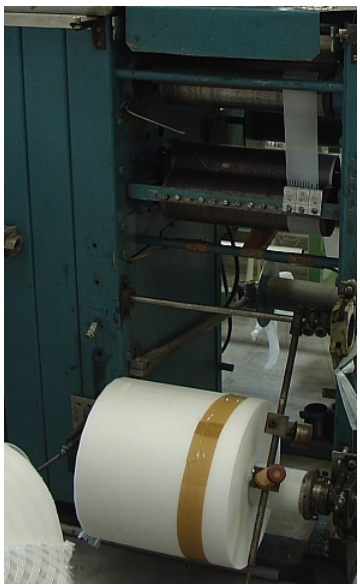


Bild 2.2.2.4:
Variante der Schneideinrichtung zum Schneiden der Microplast®-Klettfoliebändchen (zur Verkettung mit der Textilmaschine geeignet)

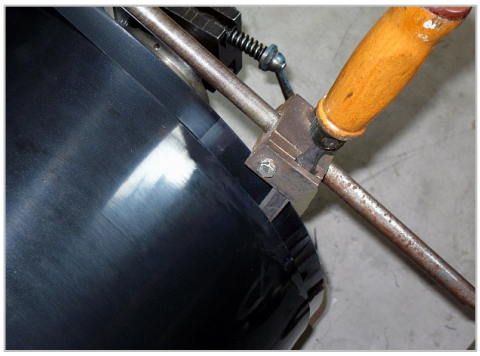
a)  b)

Bild 2.2.2.5: Schneiden der Microplast®-Klettfolie aus einer breiten Bahn (a) Aufwicklung der Streifen auf Scheibenspule (b)

Im Verlauf der Versuchsdurchführung ergab sich, dass auf Grund des möglichen Abstandes der Klettstreifen und der nutzbaren Arbeitsbreite der Versuchsmaschinen (s. Abschnitt 2.2.3) mit einer relativ geringen Anzahl von Klettbändchen gearbeitet werden konnte. Deshalb wurden aus Gründen des Aufwands die Klettbändchen nicht im Online-Betrieb unter Verkettung der Maschinen geschnitten, sondern auf einer separaten Schneidvorrichtung (Bild 2.2.2.3), und auf speziellen Scheibenspulen aufgewickelt und so der Textilmaschine vorgelegt.

Für die industrielle Fertigung mit einer größeren Anzahl von Bändchen und einer größeren Arbeitsbreite der Maschine bzw. dichterer Klettbändchenanordnung ist eine Verkettung der Schneideinrichtung mit der Textilmaschine möglich. Erfahrungen dazu liegen im STFI vor.

2.2.2.2 Vliesstoffverbunde unter Nutzung der Wirktechnologie Vliesraschelmaschine RS3 MSUS-V

Als erster Schritt wurden auf der Vliesraschelmaschine RS3 MSUS-V Vorversuche unter Variation von Material und geometrischen Parametern zur Einarbeitung von Gittern bzw. Fäden aus hochfestem Material in Kombination mit Klettbändchen durchgeführt (Tabelle 2.13, Bilder 2.2.2.4 a bis d).

Verwendete MICROPLAST®-Klettstreifen:

Durch die Fa. Gottlieb Binder GmbH&Co KG, Holzgerlingen, wurde eine Reihe von Mustervarianten zur Verfügung gestellt. Im Ergebnis von Voruntersuchungen wurde für die Verarbeitungsversuche MICROPLAST® Art.-Nr. 25445 ausgewählt.

Parameter: Pilzform hexagonal, 288/cm², PP, Dicke ca. 0,45 mm, ca. 195 g/m².

Vliesstoff:

Es wurden Vorversuche mit Vliesstoffvarianten im Flächenmassebereich von 150 bis ca. 600 g/m² (Fa. Naue) durchgeführt. Sehr feste Vliesstoffe mit höheren flächenbezogenen Massen sowie Dicken führten ohne aufwendige Modifikationen/Umbauten an der Wirkmaschine zu Verarbeitungsschwierigkeiten (verarbeitbare Gesamtdicke max. ca. 5mm, Durchstechen des Vliesstoffes bei voll ausgenadelter Maschine (Arbeitsbreite!)). In den Vorversuchen entstand eine Perforation des Vliesstoffes infolge des Durchstechens der nicht mit Fäden belegten

Nadeln (Fadeneinzug 1 voll / 3 leer; die volle Benadelung der Nadelbarre wurde aus Zeit- und Aufwandsgründen für die Vorversuche nicht verändert; andere Ausnadelung und damit Vermeiden der Perforierung ist möglich).

Auf der Vliesraschelmaschine RS3 MSUS-V können Vliesstoffe mit einem Gitter, z. B. aus hochfesten Fäden kombiniert werden. Bild 2.2.6 zeigt einen Vorversuch. Diese Verbundvariante wurde nach Diskussion mit den Projektpartnern erst einmal nicht weiter verfolgt, da insbesondere für die Anwendungen im Wasserbau besonderer Wert auf eine hohe Dehnbarkeit gelegt wurde.

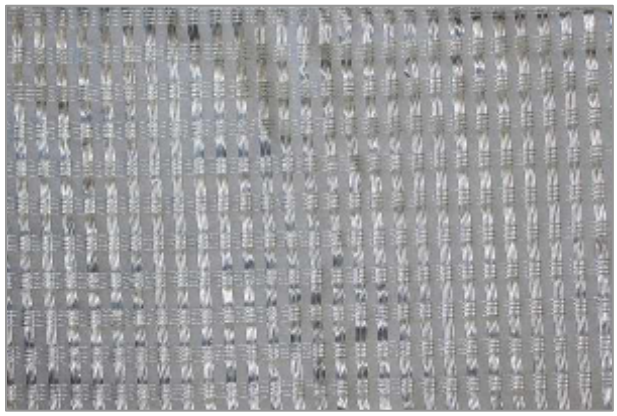


Bild 2.2.6: Beispiel Verbund-Struktur Vliesstoff + Gitter

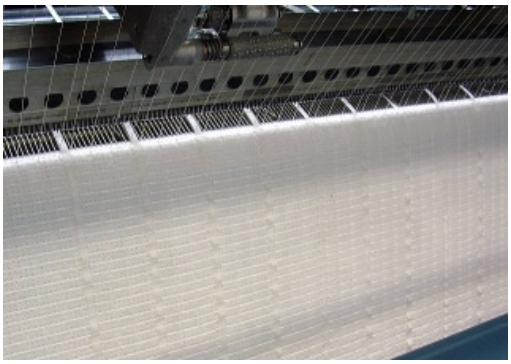
Es wurden sowohl Standard-Vliesstoffe (Secutex R 601, Secutex 351 GRK 5) als auch speziell entwickelte Varianten mit unterschiedlicher Oberflächenqualität (flauschig, fest usw.) und verschiedenen Massen/Fläche untersucht (s. a. Abschnitt 2.2.1). Die Bilder 2.2.7 bis 2.2.14 zeigen die Durchführung der Versuche.

Bild 2.2.7: Versuchseinrichtungen im STFI e.V., Raschelmaschine mit Magazinschusseintrag zur Herstellung von Vliesverbundstoffen RS3 MSUS-V, Fa. KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH

Tabelle 2.14: Vorversuche auf der Vliesraschelmaschine RS3 MSUS-V, Kombination aus Vliesstoff, Klettbändchen und Gitter (Längs- und Querfäden)

Versuch Nr.	Grundfaden		Vliesstoff	Stehfaden	Querschuss	Klettbändchen
	Bindung	Material		-	-	-
1.0	Trikot Volleinzug	PES 167 dtex	150 g PP	-	-	-
1.1	Franse 4 voll/12 leer 4fädig	4fach PES 167 dtex	150 g PP	-	-	-
1.2	Wie 1.1			8800 dtex 2fach, PES hochfest	18700 dtex PES hochfest Abstand analog Stehfaden (8 voll 16 leer , 3 R/cm 430 g/m	-
1.3	Wie 1.2, Vorversuch stehende Legeschiene für Klettstreifen					
1.4 (analog 1.2)	Franse 4 voll/12 leer 4fädig	4fach PES 167 dtex	150 g PP	PES hochfest 8800 dtex 2fach,	PES hochfest 18700 dtex Abstand analog Stehfaden (Schusslegewagen 1 voll/1 leer)	Klettstreifen 025 445, 5 mm Breite, Abstand 15 cm (über stehende LS zugeführt)
2.1	Franse 4 voll/12 leer 4fädig	4fach PES 167 dtex	500 g/m² fest vernadelt (V6 Fa. Naue)	-	-	-
2.2				PES hochfest 8800 dtex 2fach,	PES hochfest 18700 dtex Abstand analog Stehfaden	-
2.3 Wie 1.3	Franse 4 voll/12 leer 4fädig	4fach PES 167 dtex	500 g/m² (V6 Fa. Naue)	PES hochfest 8800 dtex 2fach,	PES hochfest 18700 dtex Abstand analog Stehfaden	Klettstreifen 025 445, 5 mm Breite, Abstand 15 cm (über stehende LS zugeführt)
3.1	Franse 4 voll/12 leer 4fädig	4fach PES 167 dtex	500 g/m² flauschig (V5)	PES hochfest 8800 dtex 2fach,	PES hochfest 4400 dtex Abstand analog Stehfaden	Klettstreifen 025 445, 5 mm Breite, Abstand 15 cm (über stehende LS zugeführt)
3.3	Franse 4 voll/12 leer 4fädig	4fach PES 167 dtex	500 g/m² flauschig (V5)	PES hochfest 8800 dtex 2fach,	PES hochfest 18700 dtex Abstand analog Stehfaden	Klettstreifen 025 445, 5 mm Breite, Abstand 15 cm (über stehende LS zugeführt)

a)



c)

d)

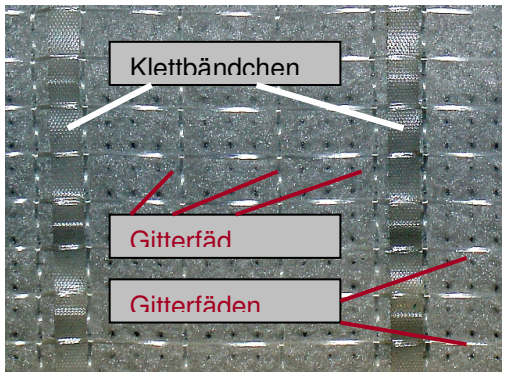


Bild 2.2.2.8: Vorversuche auf der Vliesraschelmaschine RS3 MSUS-V, Kombination aus Vliesstoff, Klettbändchen und Gitter (Längs- und Querfäden)

a) Arbeitszone der Maschine b) Vorlage und Zuführung Klettbändchen
c) Zuführung der Klettbändchen, Detail Fadenbremse
d) Verbundstruktur

Zur Charakterisierung der Ausgangsmaterialien sowie ausgewählter textiler Flächen erfolgten textilphysikalische Prüfungen. In Auswertung der Prüfungen zu Festigkeit und Dehnbarkeit wurde mit den Projektpartnern abgestimmt, dass in der weiteren Bearbeitung vorerst Varianten ohne Gitter untersucht werden, um eine größere Dehnbarkeit beim Einbau der Säcke zu gewährleisten (Festlegung zum Meilenstein 2).

Die kombinierte Verarbeitung beider Klettkomponenten erfordert, unerwünschte Selbstverklettungseffekte bei der Verbundherstellung sowie bei der Weiterverarbeitung zu vermeiden. Bei der Verarbeitung auf der Vliesraschelmaschine wurden deshalb mehrere Möglichkeiten untersucht, z. B. als einfache Lösung die Zuführung von Breitfoliebahnen nach der Wirkstelle.

Als günstig erwies sich ein Nadelvliesstoff im Flächenmassebereich zwischen 250 und 500 g/m². Auf der Versuchsmaschine traten Verarbeitungsschwierigkeiten bei Vliesstoffdicken > 5 mm auf. Die Untersuchungen zeigten, dass mit Rau-, Velourisier- und Schmirgelprozessen bzw. bereits bei der Vliesstoffherstellung zwar eine erhöhte Rauigkeit (abstehende Fasern) der Vliesstoffoberfläche erreicht werden kann, es jedoch ebenfalls sehr wichtig ist, ein Gegeneinandergleiten der Faserschichten im Vliesquerschnitt zu verhindern. Außerdem bedeuten zusätzliche Arbeitsprozesse zur Aufrauung der Oberfläche auch zusätzliche Kosten. Die weiter

durchzuführenden Versuche wurden deshalb ohne nachfolgenden Rauprozess nach der Vliesstoffherstellung durchgeführt.

Weiterhin zeigten die durch die Fa. Colcrete durchführten Feldversuche, dass eine stark aufgeraute Oberfläche des Vliesstoffes zu Festigkeitsproblemen führt, weil bei gleicher Masse/Fläche dann ein geringerer Anteil tragender Fasern im Querschnitt genutzt wird.

Bild 2.2.9: Vorlage des Vliesstoffes

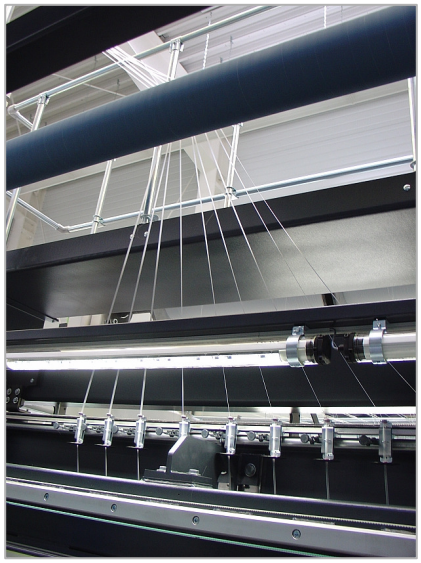


Bild 2.2.10: Zuführung der Klettfäden

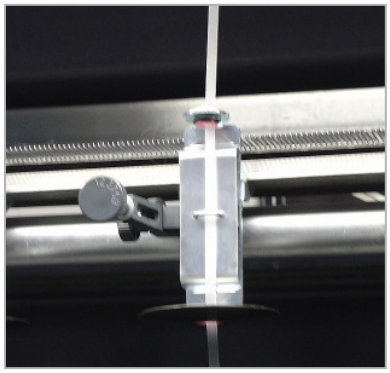


Bild 2.2.11: Abbremsung der Klettfäden

Bild 2.2.12: Verbundgewirke (Vliesstoff mit eingearbeiteten Klettfäden)

a) Foliezuführung an der Wirkmaschine b) Rolle mit Zwischenlagen

Bild 2.2.13: Versuch zum Schutz gegen unerwünschtes Verkletten durch Folielagen

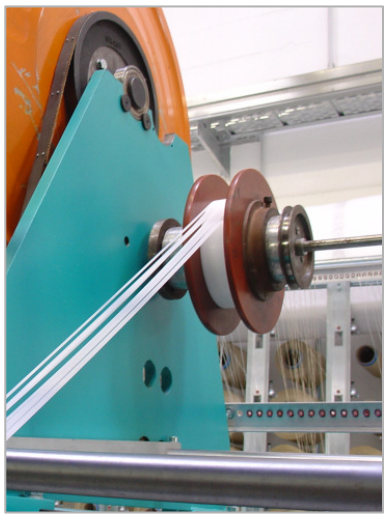


Bild 2.2.14: Zuführung der Klettbändchen

2.2.2.3 Vliesstoffverbunde nach der Nähwirktechnologie

Diese Untersuchungen wurden auf 2 Maschinentypen ausgeführt:

a) Spezialwirkmaschine (Steppmaschine)

Aufgrund der genannten Probleme bei den Verarbeitung auf der Vliesraschel erfolgten im STFI Verarbeitungsversuche auf einer Spezialwirkmaschine mit einer speziell entwickelten Nadel, die einen Nadelkopf mit Spitze besitzt („Steppmaschine“, der Verarbeitungsprozess entspricht technisch einer modifizierten, extrem groben Nähwirktechnologie). Die Bilder 2.2.15 und 16 zeigen Versuchsstand und Nadelbarre mit Spezialnadeln.

Trotz des veränderten Nadelkopfes kam es auf Grund des festen Faserverbundes der von den Anwendern bevorzugten Vliesstoffvariante (≥ 600 g/m², fest vernadelt) ebenfalls zu Verarbeitungsschwierigkeiten durch zeltartiges Aufwölben des Vliesstoffes anstelle des Durchstechens der Nadeln (Bild 2.2.17).

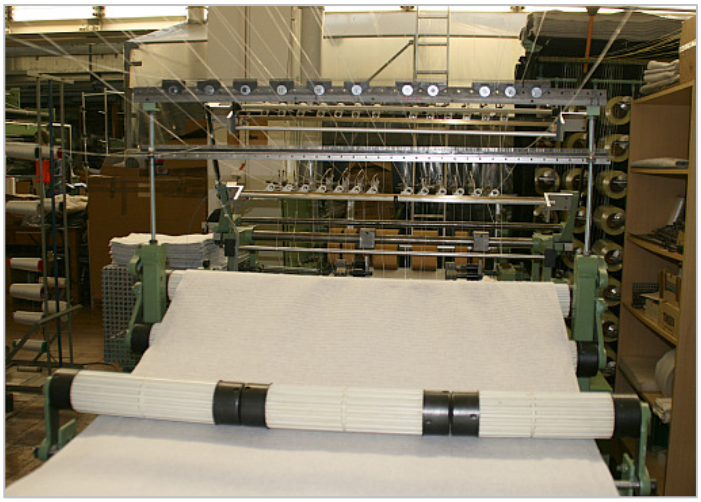


Bild 2.2.15: Versuchsstand Spezialwirkmaschine

Bild 2.2.16: Spezialnadeln

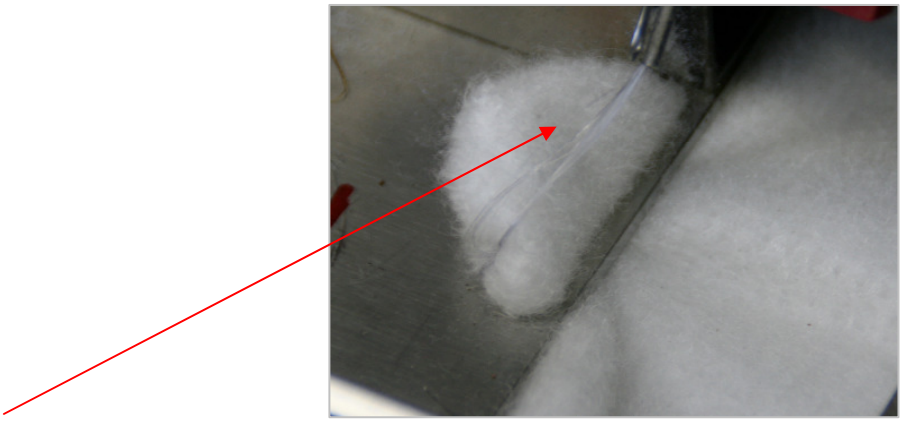


Bild 2.2.17: Aufwölben des Vliesstoffes beim Durchstechen der Nadel

Der Einsatz feinerer Nadeln, die zu geringeren Durchstichkräften führen, war aus Zeit- und Kostengründen nicht möglich, ebenso die Verwendung eines leistungsfähigeren Motors, evt. anderer Getriebe usw. Weitere Versuche erfolgten auf einer Nähwirkmaschine Typ Malimo.

b) Nähwirkmaschine Typ Malimo

Diese Technologie wurde als weitere Möglichkeit für die Herstellung des Versuchsmaterials untersucht (Bild 2.2.18).

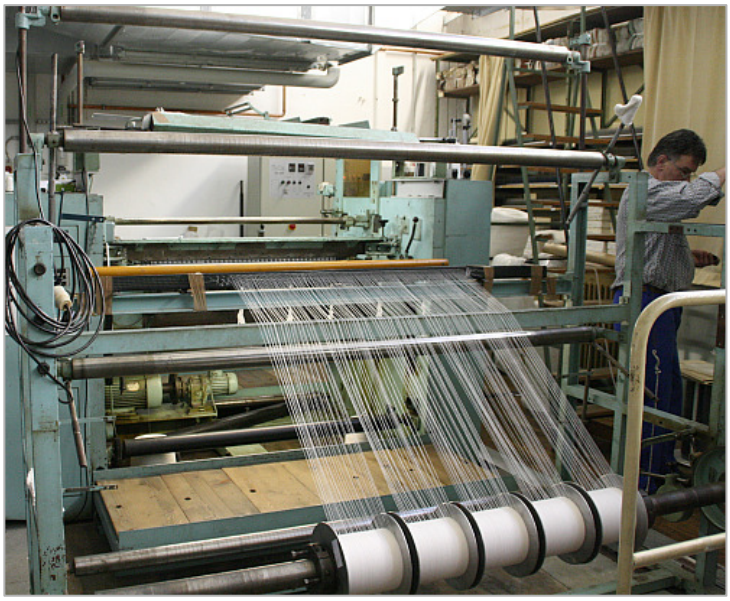


Bild 2.2.18: Versuchsstand Nähwirktechnik, Malimo-Maschine Typ 1410

In Vorversuchen wurde die prinzipielle Eignung dieser Technologie nachgewiesen und danach die maschinellen und technologischen Voraussetzungen durch den Bau von Zusatzeinrichtungen und die Ausstattung der Maschine angepasst, insbesondere durch Einrichtungen zur Zuführung des Vliesstoffs, der Masche bildenden Fäden und der Klettbändchen. Die Maschine wurde mit speziellen Exzentern ausgestattet sowie die Eignung unterschiedlicher Nadeltypen untersucht. Außerdem wurden Maschineneinstellungen, Grundfadenmaterial sowie die Bindung zum Fixieren der Klettstreifen auf dem Vliesstoff variiert (Trikotlegung, durch Fransefaden beidseitig abgebundener Schuss, Aufnähen breitere Microplast®-Foliestreifen mit Fransefäden, Bilder 2.2.19 bis 22). Die Materialeigenschaften wurden durch textilphysikalische Prüfungen ermittelt. Monofilgarn war auf Grund des kleinen Umlenkwinkels an der Nadel schwierig zu verarbeiten (Fadenbrüche).

Es war notwendig, die Fadenlänge pro Masche mit genügend Dehnungsreserve einzustellen, um ein Reißen des Fadens unter Dehnungsbelastung im Gebrauch zu vermeiden. Dazu wurde schrittweise die Fadenlänge/Masche verändert und das Kraft-Dehnungs-Verhalten ermittelt. Abgleitet von den zu erwartenden Beanspru-

chungen sollte der Vliesstoff-Klett-Verbund eine Mindestdehnbarkeit von 30 % besitzen. Die Fadenlänge/Masche wurde solange variiert, bis der Verbund den im Diagramm Bild 2.2.25 (Abschnitt 2.2.2.4) gezeigten Wert (> 30 %) aufwies. Bei der optimierten Variante erreichte zuerst der Vliesstoff seine Belastungsgrenze. Das Klettmaterial erreichte etwa 300 % Bruchdehnung (Bild 2.2.28).

Um die Lagen auf der Rolle zu trennen, wurde Foliematerial, Papier u.ä. als Zwischenlage bei der Aufwicklung eingefügt. Es erwies sich jedoch als vertretbar, die Bahnen bei der Herstellung ohne trennendes Zwischenmaterial wie Papier oder Folie auf Docke aufzuwickeln.

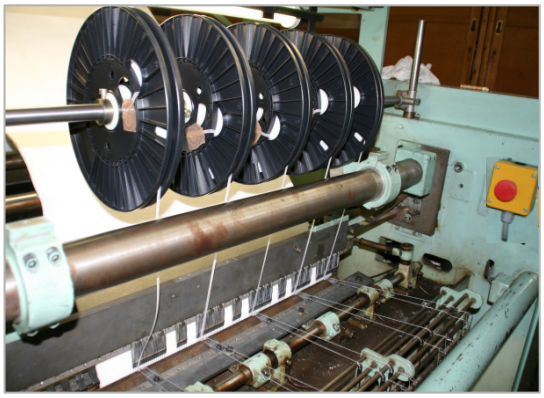


Bild 2.2.19: Zuführung der Klettbändchen

Bild 2.2.20: Schneiden der Klettbändchen

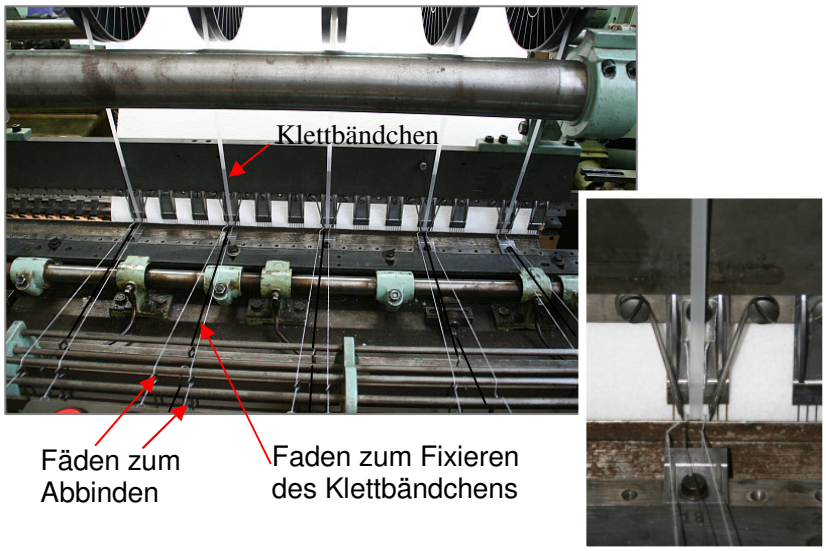


Bild 2.2.21: Verarbeitungsversuch, Aufbringen der Klettbändchen

Bild 2.2.22: Variante für die Führung der Klettfäden in der Wirkzone

Bild 2.2.23: Materialvorlage Vliesstoffrolle

2.2.2.4 Angaben zu ausgewählten Prüfungen

Zur Einschätzung der Parameter der Vliesstoffverbunde wurden an ausgewählten Mustern Prüfungen der textilphysikalischen Eigenschaften durchgeführt (Bilder 2.2.24 bis 2.2.25).

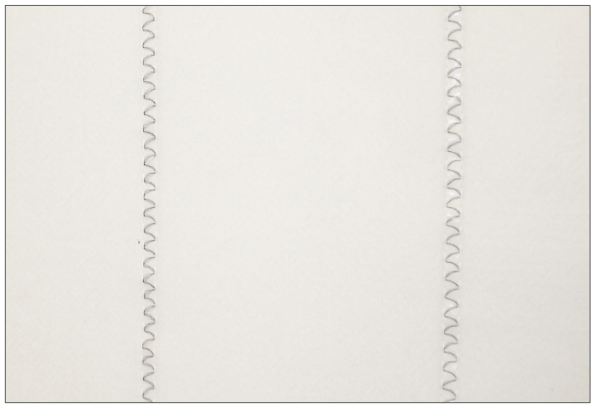


Bild 2.2.24: Muster des Verbundes

e

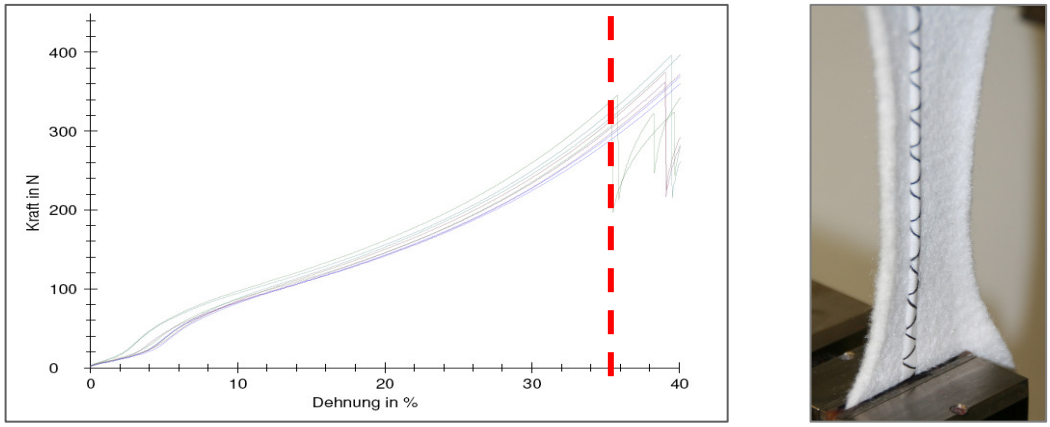


Bild 2.2.25: Kraft-Dehnungs-Prüfung des Verbundes

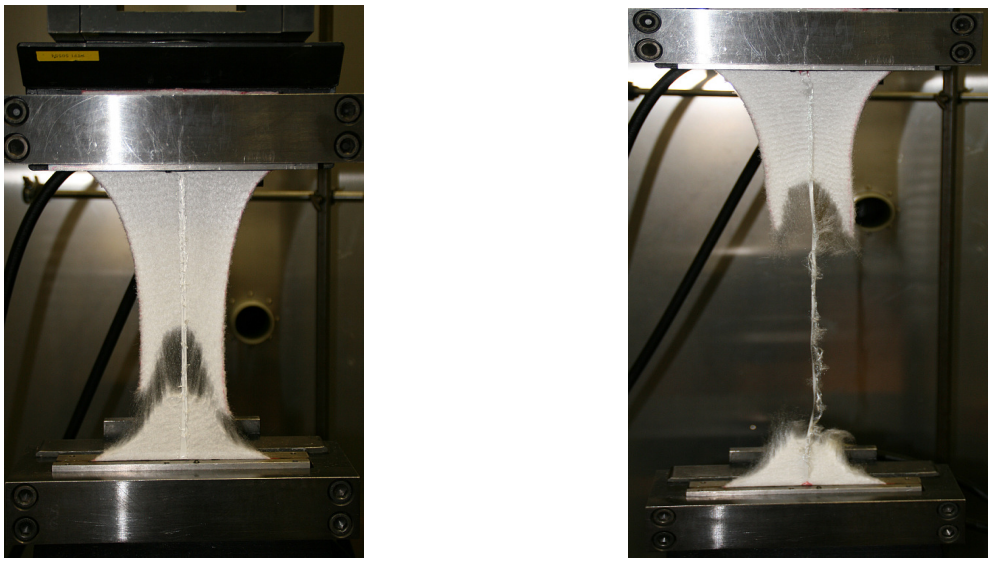


Bild 2.2.26: Prüfung der Höchstzugkraft und -dehnung (längs und quer) des Verbundes aus Vliesstoff und Microplast®-Streifen

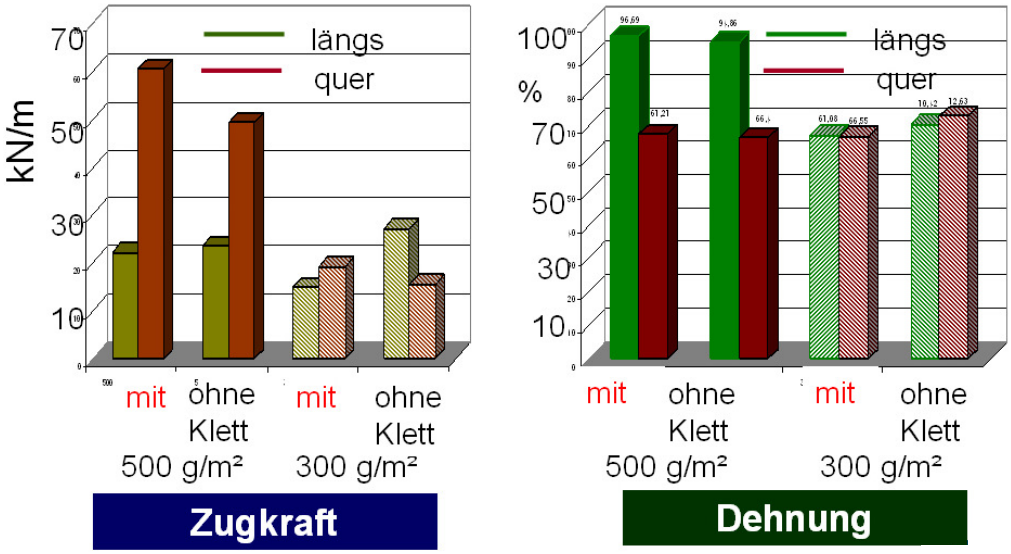


Bild 2.2.27: Ergebnisse der Kraft-Dehnungs-Prüfung der Vliesstoffe mit und ohne Klettstreifen

Das Verhalten der Microplast®-Bändchen und geometrische Veränderungen der Klettelemente unter Längszug zeigen die Bilder 2.2.28 und 29. Nach einer anfänglich steil ansteigenden Kraft-Dehnungs-Kurve bleibt die Zugkraft nahezu konstant bei hoher Dehnung, die bereits ab 40 N bis zum Bruch mit mehr als 300 % wesentlich über der maximalen Dehnung des Vliesstoffs liegt. Insbesondere erhöhen sich die

Abstände zwischen den Klettelementen, die durch ihre Form auch bei sehr hoher Dehnung noch eine gute Klettwirkung behalten.

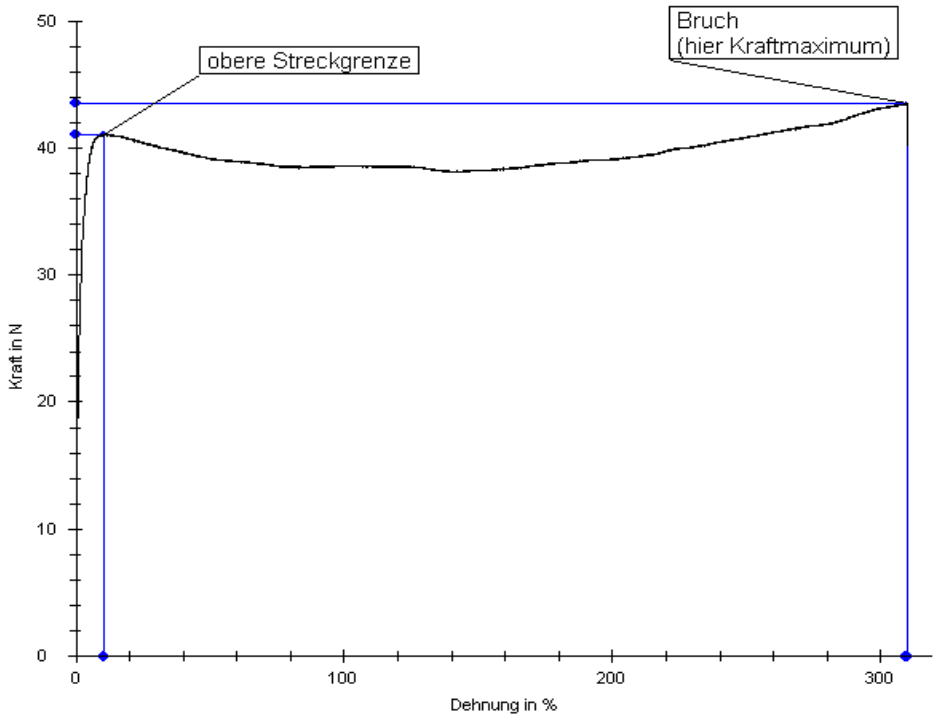


Bild 2.2.28: Zugversuch Microplast®-Streifen

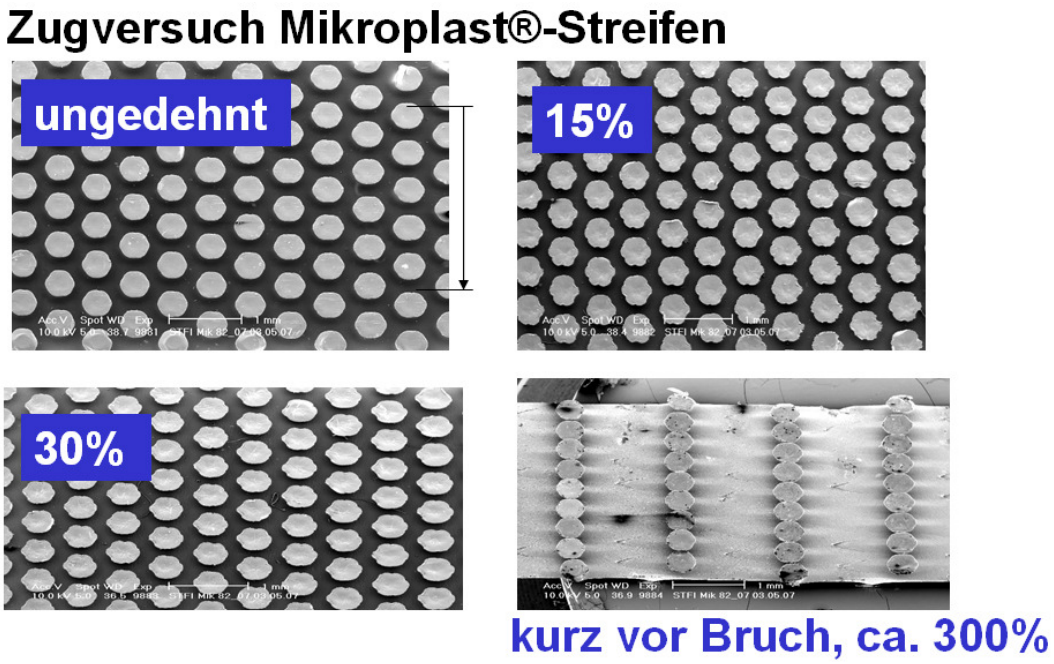


Bild 2.2.29: Veränderung der Klettoberfläche von Microplast®-Streifen bei Dehnung

2.2.3 Rundwebverfahren[1]

2.2.3.1 Ausgangssituation und Voruntersuchungen

Ausgangspunkt der Untersuchungen war die Überlegung, durch das Verfahren Rundweben ein Schlauchgebilde herzustellen, welches durch seine Eigenschaften (durch Verwendung von Klettfoliebändchen und Bändchen mit flauschigem Anteil) eine höhere Stapelsicherheit bei der praktischen Verwendung im Wasser- und Erdbau sowie beim Katastrophenschutz (z.B. Überschwemmungen) gewährleistet.

Die Nutzung des Rundwebverfahrens ist dabei im Gegensatz zu der Flächenherstellung auf einer Wirkmaschine in soweit vorteilhaft, als das schon im Produktionsprozess ein Schlauch entsteht und nicht erst durch das Vernähen einer Flächenware hergestellt werden muss. Lediglich eine Bodennaht ist nachträglich zu fertigen.

Für die Versuche wurde eine Rundwebmaschine Typ KCL 4085/2 der Firma Karl Mayer Malimo genutzt (Bild 2.2.30). Ein Vorteil dieser Maschine ist, im Gegensatz zu anderen Rundwebmaschinen, die 45 Grad Fachlage, welche ein schonendes Verweben unterschiedlichster Materialien gewährleistet. Außerdem können dadurch Schussspulen mit relativ großem Durchmesser eingesetzt werden.

Auf Grund der maschinentechnischen Gegebenheiten des Typs KCL 4085/2 können nur kleine Container mit einem max. Durchmesser von 54 cm hergestellt werden. Dies entspricht einer doppeltflach gelegten Breite von 85 cm. Diese Angabe ist die gebräuchliche Bezeichnung für die Breitenabmessung von rundgewebten Säcken – (siehe Tabelle 2.15)

Bild 2.2.30: Rundwebmaschine KCL 4085/2, Versuchstand

[1] Abschnitt 2.2.4 wurde maßgeblich durch E&M Eichler und Meurers Industrietechnik GmbH erarbeitet

Tabelle 2.15: Webringdurchmesser mit der daraus resultierenden doppelt flachgelegten Breite[2]

Webring-Bezeichnung	Schlauchbreite doppelt flachgelegt cm	Schlauch-durchmesser cm	Maschinentyp
20	20	13	KCL 4085/2
30	30	19	KCL 4085/2
35	35	22	KCL 4085/2
40	40	25	KCL 4085/2
50	50	32	KCL 4085/2
60	60	38	KCL 4085/2
70	70	45	KCL 4085/2
80	80	51	KCL 4085/2
85	85	54	KCL 4085/2
160	160	102	KCL 6160
210	210	134	KCL 6210

2.2.3.2 Versuchsdurchführung

Als erstes wurden die prinzipiellen Möglichkeiten geprüft, die für die Herstellung geotextiler Container notwendigen Fadenkomponenten der Webmaschine zuzuführen und im Webprozess zu beherrschen. Dieses Material können z. B. Bändchen aus Vliesstoff, flauschigem Material kombiniert mit klettenden Foliebändchen sein.

Zunächst wurde eine Vorauswahl von zu verwebenden Materialien getroffen und die Verarbeitbarkeit in Vorversuchen getestet. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse erfolgten die Arbeiten zu Konstruktion und Bau der für die Verwebbarkeit unterschiedlicher Materialien relevanten Baugruppen (Modifizierungsarbeiten). Dies betraf vor allem die Fadenleitelemente (Walzen, Kompensatorfedern, Webblättern) und insbesondere die Webschützen.

An folgenden Baugruppen und Einzelteilen der Rundwebmaschine wurden Veränderungen vorgenommen, um die unterschiedlichen Materialien verweben zu können:

[2] entspricht der Breite des halben Umfangs

Spulengatter:

- Einsatz von Tänzern (Fadenspannungsregulierer) mit vergrößertem Biegeradius am Kopf, dadurch geringere Reibung und damit auch geringere Belastung auf die Kettfäden bzw. –bändchen

- Einbau von größeren Fadenführerösen im Fadenkamm mit dem Resultat eines verbesserten Fadenlaufes

- Einbau breiterer Webblätter, um die Belastung der Fadenschar beim Einlauf in die Webmaschine zu minimieren

Bild 2.2.31: Fadenkamm im Gatter

Bild 2.2.32 Tänzer**:**

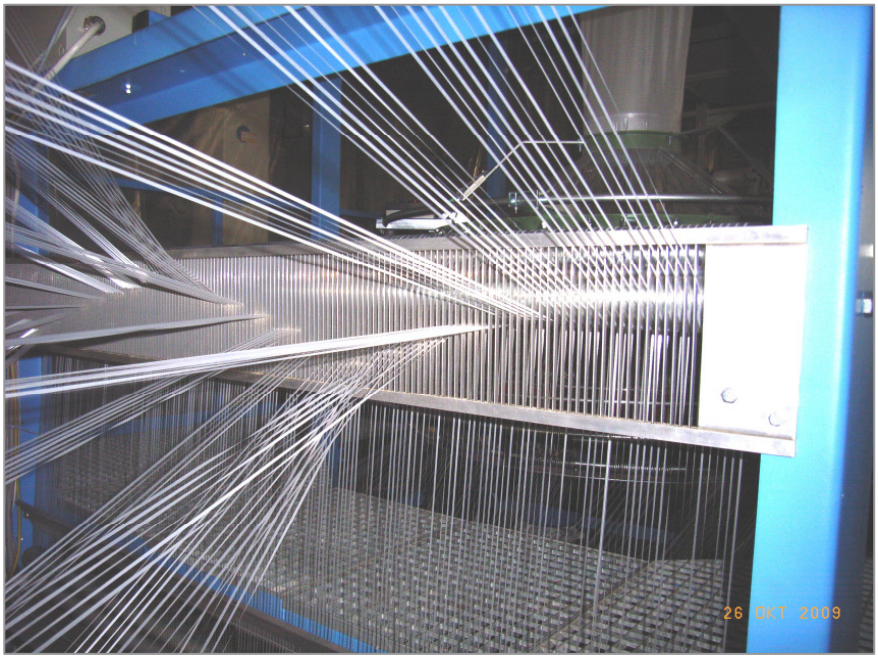


Bild 2.2.33: Gerades Webblatt mit vergrößertem Abstand der Lamellen

Fadenleitelemente an der Grundmaschine:

Getestet wurden verschiedene Weblitzen und Fadeneinleger (Bilder 2.2.37 und 38), um eine Ausführung zu finden, bei welcher die Belastung auf die zu verwebenden Materialien am geringsten ist.

Wie aus Bild 2.2.37 ersichtlich, unterschieden sich die Maillons in Form und Größe. PP-Bändchen sind problemlos mit allen Varianten verarbeitbar, die in den Versuchen eingesetzten Vliesstoffbändchen benötigen eine große, rechteckige oder auch ovale Maillonform (Bild 2.2.37 Mitte), um faltenfreie Zuführung zu gewährleisten.

Für die Verarbeitung der relativ stabilen, wenig zum Falten neigenden Klettbändchen eignen sich im Prinzip alle Typen. Als am günstigsten erwies sich die mittlere Form, die für die optimierte Versuche (Test 3) eingebaut wurde.

Bild 2.2.38 zeigt die verwendeten Fadeneinleger mit verschiedenen Fadenaugen. Ausführung B erwies sich als am günstigsten. Ausführung C wurde für die breiteren Vliesstoffbändchen verwendet, die mit den Varianten A und B nicht verarbeitbar sind (Faltenbildung). Ausführung D mit eingesetzten Ösen ist dafür ebenfalls ungeeignet.

Für das in den Versuchen eingesetzte flauschige Garn brachten alle Formen außer C gute Ergebnisse, jedoch ist zu beachten, dass die Herstellung aufwendig ist (Preis!) und auf Grund der Abmessungen (kleiner Ösendurchmesser im Vergleich zum Fadendurchmesser) zu starke Fadenschwingungen auftreten können.

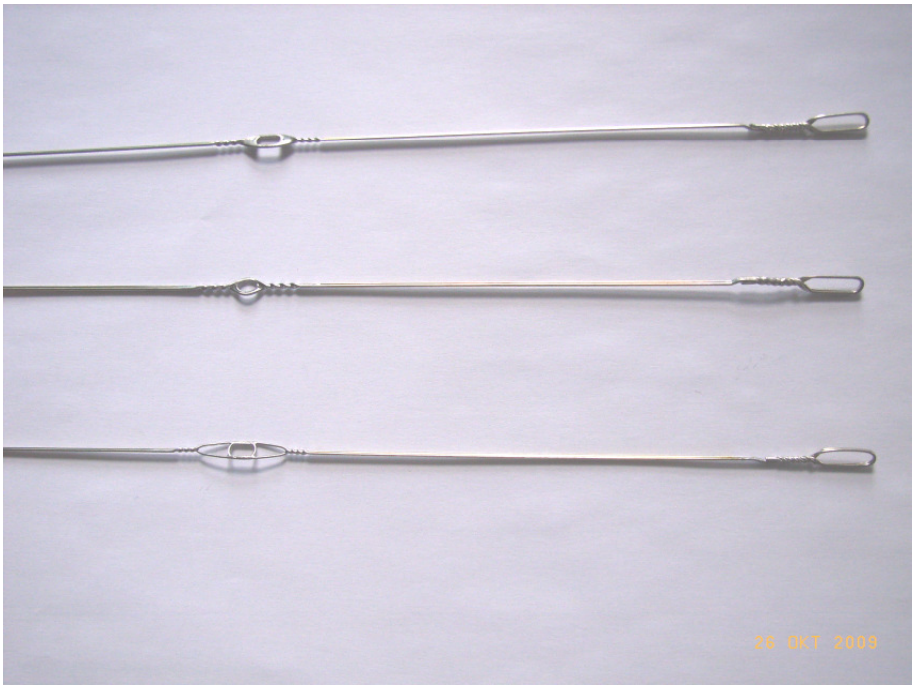


Bild 2.2.34: Weblitzen mit unterschiedlichen Maillons

Bild 2.2.35: Fadeneinleger mit verschiedenen Fadenaugen

<u>Webschütz:</u>

Bild 2.2.36: Webschütz mit eingelegter Vliesstoffspule und mit Vulkollan beschichteten Schützenrädern

Bild 2.2.37: Schussspulen mit verschiedenen Vliesstoffbändchen

Die Webschützen sind bei der Standardausführung der Maschine nicht auf Sondermaterialien ausgelegt. Sie nehmen das Schussfadenmaterial auf und stellen eine wesentliche Baugruppe dar. Insbesondere wird die Produktivität wesentlich durch die speicherbare Materialmenge beeinflusst (Schützenwechsel!).

Bei der Gestaltung der Webschützen (Bild 2.2.36) wurde besonderes Augenmerk auf die Leichtgängigkeit der Schützenräder gelegt. Eingesetzt wurden deshalb C3 -Kugellager mit erhöhter Lagerluft.

Außerdem erhielten die Schützenräder einen Belag aus Vulkollan mit einer Härte von 65° Shore A. Dieser Belag ist weicher als herkömmliche Polyamidbeläge und ermöglicht ein schonenderes Überrollen der Kettfäden. Dadurch wird eine zu große Schädigung der Häkchenstruktur der Klettbändchen vermieden, was sich wiederum positiv auf die spätere Haftung zwischen Klett- u. flauschigem Anteil im Gewebe auswirkt.

Um einen geeigneten Materialeinsatz zu ermitteln, wurden unterschiedliche Materialien sowohl im Schuss als auch in der Kette untersucht (Tabelle 2.16).

Tabelle 2.16: Wesentliche Materialuntersuchungen (Schuss und Kette)

Versuchs-nummer	Material im Schuss (4 Schützen)	Material in der Kette
1	2 Bändchen Microplast®-Klettfolie MK2544 2 Polypropylenbändchen 2,5mm breit	2 Bändchen Vliesstoff je 5mm breit110 tex
2	4 Bändchen PP 2,5mm breit 110 tex	Klettfolie weich 5mm breit alternierend mit 2 PP Bändchen je 2,5 mm breit
3	1 Faden PCF-Garn texturiertes Polypropylen 630 tex, 3 PP Bändchen 2,5mm breit	auf dem halben Umfang verteilt 8 Bändchen Microplast® 25443 3mm breit, sonst PP Bändchen 2,5mm breit
3/ V	1 Faden PCF-Garn texturiertes Polypropylen 630 tex, 3 PP Bändchen 2,5mm breit	PP Bändchen 2,5mm breit (Vergleichsmuster)
4	2 Fäden Baumwollgarn, 2 PP Bändchen 2,5mm breit	Auf halbem Umfang verteilt 8 Bändchen Microplast® 25443 3mm breit, sonst PP Bändchen 2,5mm breit
5	1 Bändchen Microplast® 25443 3mm, 3 Bändchen PP 2,5mm breit	Auf halbem Umfang verteilt 4 Bändchen Microplast® 25443 3mm breit, sonst PP Bändchen 2,5mm breit

Die folgenden Bilder 2.2.38 bis 2.2.41 zeigen Gewebemuster der Versuche 1, 2, 3 und 5.

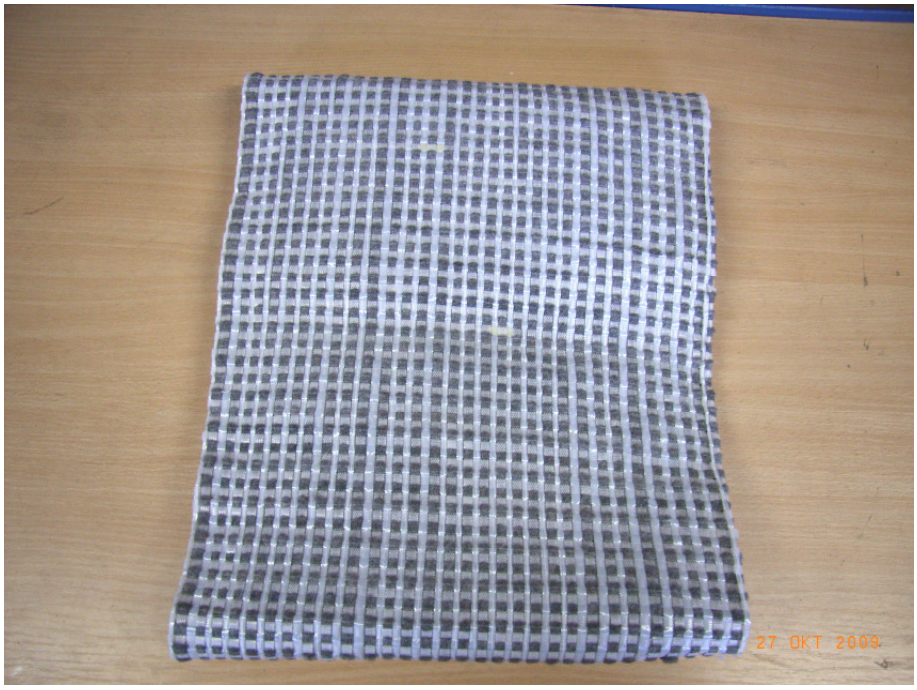


Bild 2.2.38: Mustergewebe Versuch 1

Bild 2.2.39: Mustergewebe Versuch 2

Bild 2.2.40: Mustergewebe Versuch 3

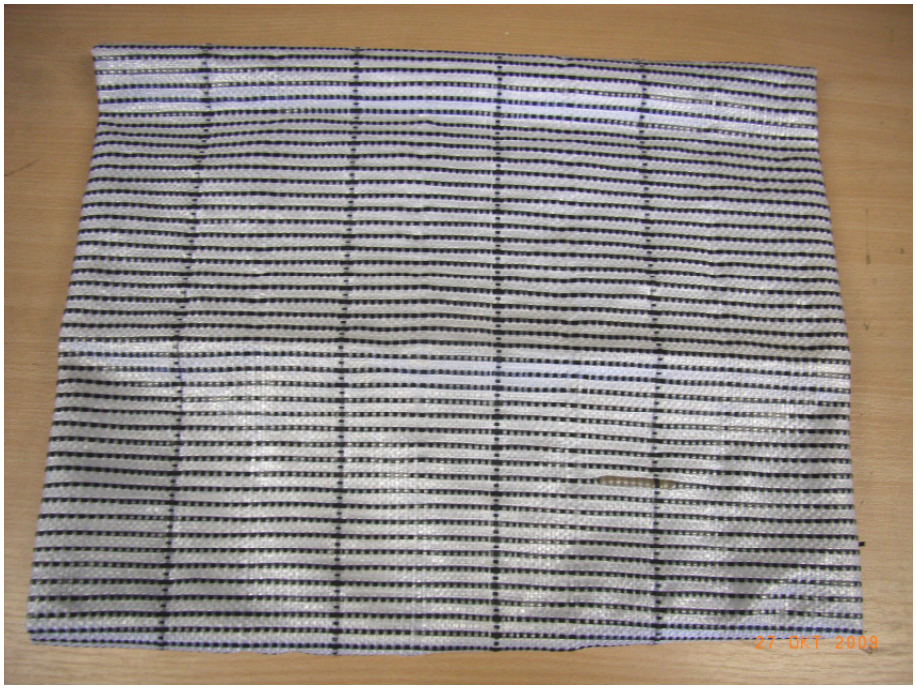


Bild 2.2.41: Mustergewebe Versuch 5

2.2.3.3 Versuchsergebnisse

Versuch 1:

Die Verwebbarkeit der eingesetzten Materialien war gegeben. Nachteilig wirkten sich im Schuss die zu hohe Dehnung der Vliesstoffbändchen und der nicht wirtschaftlich vertretbare Aufwand beim Bespulen der Schussspulen aus. Außerdem zeigten sich Unregelmäßigkeiten beim Abrollen der mit Klettmaterial bespulten Schussspulen.

Resultierend aus diesen Ergebnissen ist eine wirtschaftliche Herstellung von Gewebe dieser Konfiguration nicht möglich.

Versuch 2:

Grund für diesen Test war der Versuch, auf den Einsatz von Vliesstoff oder anderem flauschigen Material aus Kostengründen zu verzichten. Im Ergebnis zeigte sich zwar das bessere Webverhalten der eingesetzten Materialien als im Versuch 1, hier war aber eine sehr geringe Haftfähigkeit der PP-Bändchen zu der weichen Klettfolie zu verzeichnen. Endresultat wie bei Versuch 1.

Versuch 3:

Bei diesem Versuch wurde als flauschiger Anteil ein der Polypropylen Faden im Schuss verwendet. Dieses Material war mit Hilfe eines Umspulers der Firma Barmag-Spinnzwirn sehr effektiv auf die in im Webschützen vorhandenen Hülsen umspulbar und zeigte sich auch im Webprozess als leicht beherrschbar. In Verbindung mit den in die Kette eingezogenen Klettbändchen entstand ein Gewebe, das die gewünschten Eigenschaften in hohem Maß besitzt. Die Webversuche ergaben, dass mit dieser Materialzusammenstellung das gewünschte Gewebe wirtschaftlich herstellbar ist.

Zur Simulation der Anwendung wurden Säcke konfektioniert (verfahrensbedingt mit einer Bodennaht und, mit Sand gefüllt (Bilder 2.2.42). Die Bodennaht wurde als Doppelkettstichnaht mit weißem Nähgarn (PP 1100 dtex) auf einer Doppelkettstichnähmaschine der Firma SL Spezialnähmaschinenbau Limbach-Oberfrohna ausgeführt.

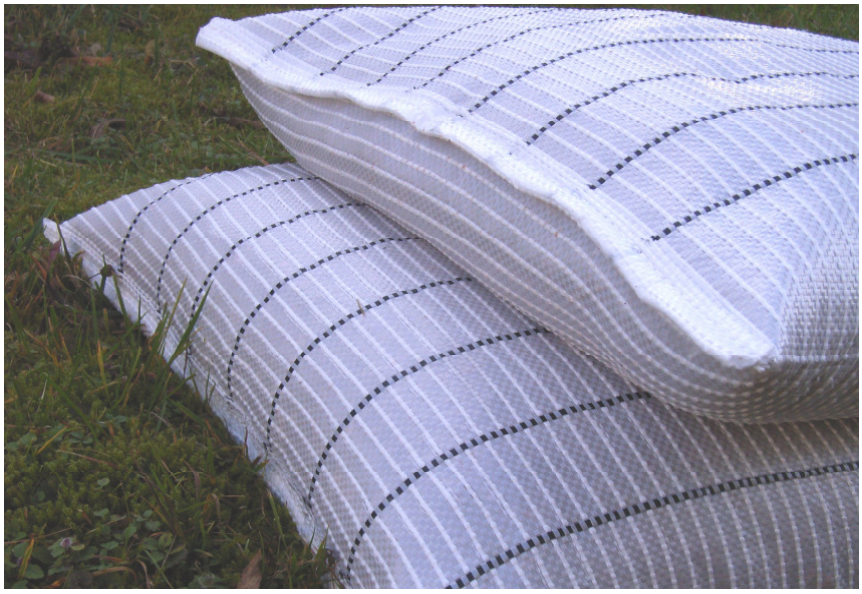


Bild 2.2.42: Konfektionierte Säcke aus Schlauchgewebemuster nach Versuch 3

Versuch 4:

Das versuchsweise für den flauschigen Anteil eingesetzte Baumwollgarn erwies sich als nicht geeignet, zusammen mit den eingesetzten Microplast®-Bändchen die notwendige Haftung aufzubringen.

Versuch 5:

Anstelle eines flauschigen Fadenanteils wurde auch im Schuss ein Bändchen Microplast® 25443 eingesetzt. Im Ergebnis zeigte sich eine relativ starke Haftung der Gewebeoberflächen aneinander. In der Praxis würde dies zu erheblichen Problemen beim Handling der Säcke führen.

Für alle Versuche ist feststellbar:
Die Microplast®-Bändchen waren in allen Versuchen ohne Probleme verarbeitbar. Verdrehungen traten auf Grund der Verwendung geeigneter Fadenführungseinrichtungen nicht auf.

An Prüflingen ausgewählter Versuchsmuster wurden Scherversuche am Institut für Geotechnik und Geohydraulik der Universität Kassel durchgeführt (siehe auch Abschnitt 2.4.3.2, Auflastspannung 35 kN/m², Vorschubgeschwindigkeit 1mm/min). Dabei wurden Gewebe nach Versuch 3 und herkömmliches Polypropylen Gewebe verglichen.

Des Weiteren wurde für die Gewebemuster 3 und 3 V (ohne Klettband) das Kraft-Dehnungs-Verhalten in Kett- und Schussrichtung ermittelt (Bilder 2.2.43 und 44). Es handelt sich um Beispielwerte für das spezifische Versuchsmuster. Durch anderen Materialeinsatz (z. B. PES hf) können die Festigkeits- und Dehnungseigenschaften (Höchstzugkraft!) wesentlich beeinflusst werden.

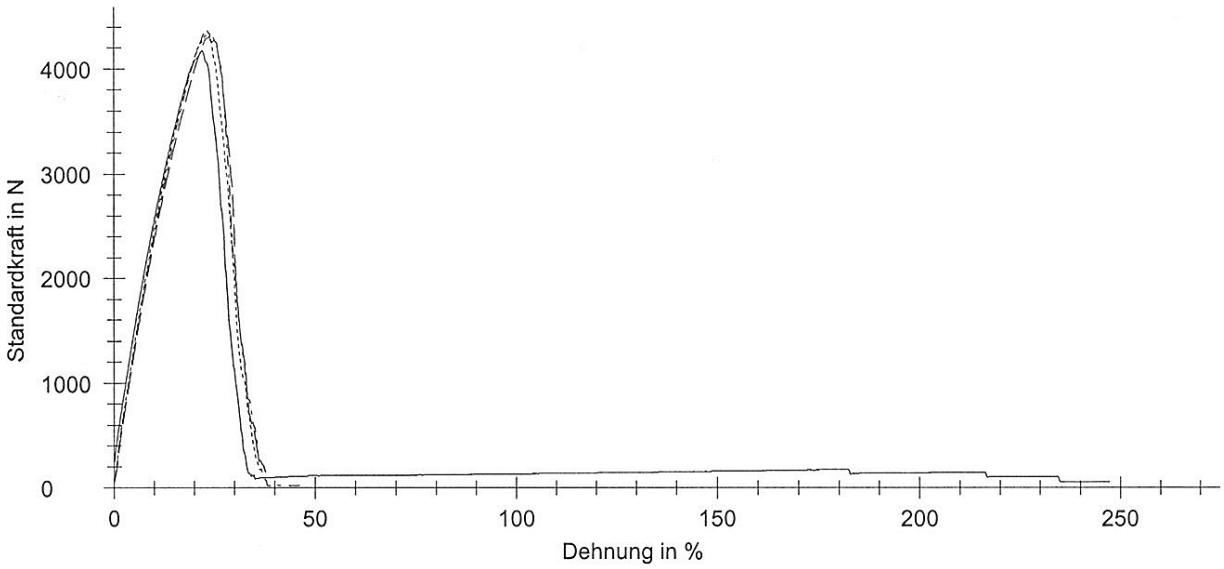


Bild 2.2.43: Kraft-Dehnungs-Verhalten Gewebemuster 3 und 3V (durchgehende Kurve) in Kettrichtung

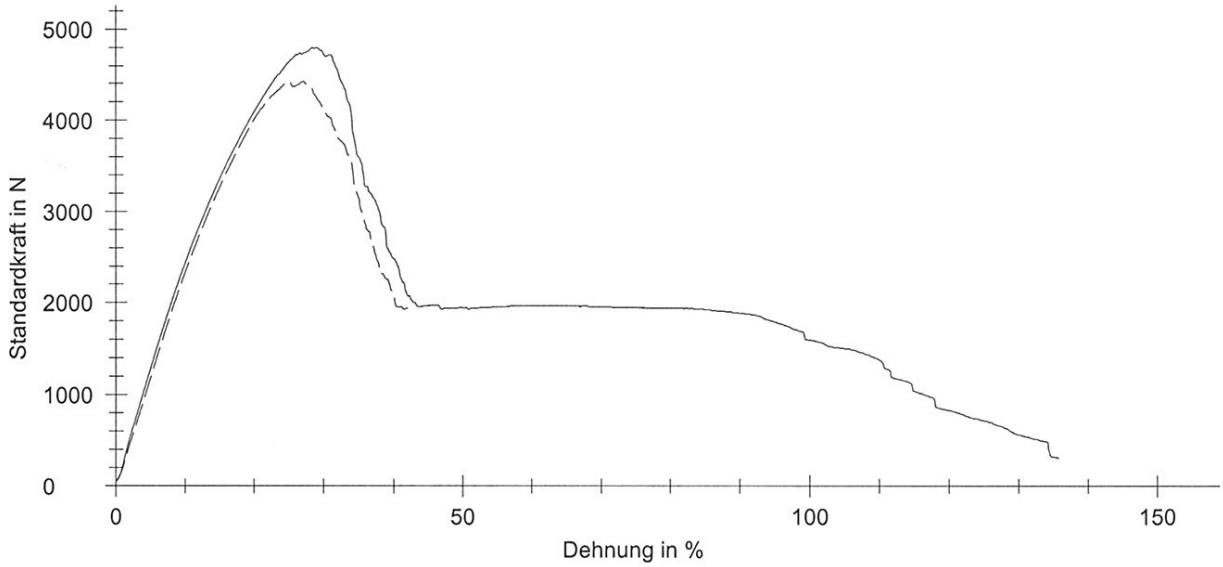


Bild 2.2.44: Kraft-Dehnungs-Verhalten Gewebemuster 3 / 3V in Schussrichtung

Der Vergleich der Festigkeitswerte zeigte für die geprüften Muster mit und ohne Klettfaden keinen signifikanten Unterschied in der Höchstzugkraft durch den Einfluss des Klettfadens,

In Auswertung der mit den unterschiedlichen Materialien durchgeführten Webversuche kann festgestellt werden, dass das Gewebe nach Versuch 3 in seiner Konfiguration der Zielstellung des Projektes am meisten entspricht. Auf Grund der maschinenspezifischen Gegebenheiten der Rundwebmaschine (max. Breite des Schlauchgewebes 85cm doppelt flachgelegt) ist es unwirtschaftlich und wegen einer Dehnung des Gewebes längs und quer von unter 30 % auch funktional ungünstig, diese Kleincontainer im Unterwasserbau einzusetzen. Erfolgversprechendere Anwendungsgebiete liegen in den Bereichen Böschungs- bzw. Erdbau, Hochwasserschutz und Sandsackbarrieren. Dort werden vorwiegend Säcke mit einer Breite doppelt flachgelegt von 30 bis 40 cm eingesetzt.

Nach Abschluss des Projektes ist in Weiterführung der Arbeiten geplant, entsprechende Demonstratoren für die o. g. Anwendungen zu fertigen, potenziellen Partnern (Feuerwehr, Katastrophenschutzeinrichtungen, Flussbaubetriebe u. ä.) für Testzwecke zur Verfügung zu stellen und weitere Optimierungsarbeiten anzuschließen.

2.3 Entwicklung einer Zuschnitt- und Konfektionstechnologie für die stapelfähigen geotextilen Container[1]

2.3.1 Allgemeines

Im Projekt wurden zahlreiche Aspekte zur Herstellung geotextiler Container untersucht um verbesserte Eigenschaften zu erreichen. Für die Fa. Flexitex GmbH stand die Aufgabe, neue Konfektionstechnologien zur Herstellung von geotextilen Container mit innovativen Eigenschaften zu erarbeiten. Das umfasste Folgendes:

- Organisation der Abläufe
- Innerbetrieblicher Transport
- Entwicklung der Zuschneide- und Konfektionstechnologie
- Auswahl optimalen Nahtmaterials
- Auswahl optimaler Nähverfahren
- Kombination verschiedener Produkt- und Herstellungslinien
- Verpackung und Versand

Die Versuche zur Konfektionierung bei der Fa. Flexitex GmbH wurden mit den anderen Projektpartnern abgesprochen und ausgewertet, z. B. mit dem Vliesstoffhersteller. Ein wichtiger Aspekt war beispielsweise, dass die Klettbänder richtig positioniert sind und im weiteren Verarbeitungsprozess durch unkontrolliertes Anhaften nicht störend wirkten. Hierzu wurden auch Versuche gemeinsam mit dem STFI durchgeführt, um diesen unerwünschten Effekt zu vermeiden.

2.3.2 Organisation der Abläufe

Da das Gebäude der Flexitex GmbH mehrgeschossig ist, waren zur Herstellung von großen, konfektionierten Erzeugnissen bestimmte Anforderungen im organisatorischen Ablauf zu beachten.

Für die Herstellung von geotextilen Containern wäre eine horizontale Fertigungslinie ideal. Unabhängig von der Größe der Teile könnten dann Anlieferung, Zuschnitt, Zwischenlagerung, Konfektion, Verpackung, Lagerung und Versand in einer Ebene erfolgen.

Diese Bedingung ist jedoch nicht gegeben, deshalb waren für die Versuche organisatorische Maßnahmen notwendig, um die Herstellung zu ermöglichen (Für eine spätere industrielle Fertigung sind Umbauten vorzunehmen). Die Vliesrollen sollten bei der Anlieferung nur eine bestimmte Breite (maximal 180 cm) und Rollendurchmesser aufweisen, um sie mit dem Aufzug in die höheren Etagen transportieren zu können. Auf Grund der Arbeitsbreite der Flächenbildungsmaschine im STFI konnten diese Anforderungen problemlos umgesetzt worden.

Für den Zuschnitt der Teile wurden die Räume im ersten Obergeschoss ausgewählt und durch Umstrukturierung, speziell durch Versetzen vorhandener Maschinen und Anlagen, entsprechende Bedingungen für die Versuchsreihen geschaffen.

Weitere bauliche Veränderungen waren notwendig, z. B. das Verlegen von Elektroanschlüssen. Durch Weiterentwicklung ist ein Fertigungsplan für dieses Produkt er-

[1] Abschnitt 2.3 wurde maßgeblich durch Flexitex GmbH erarbeitet

stellt worden (Anlage 1). Um eine exakte Durchführung der Versuche zu sichern, wurden Ablaufpläne erstellt.

Die Anpassung der notwendigen Maschinentechnik an die besonderen Bedingungen des Herstellens von klettfähigen geotextilen Containern wurde durchgeführt.

- Umbau des Kreismessers auf Ein- Mann- Bedienung unter sicherheitsrelevanten Aspekten
- Maschinentechnische Anpassung der Nähmaschine durch Ersatz von Baugruppen
- Herstellen eines passenden Zuschneidetischs zum Ablängen und Zusammenschlagen der überdimensionalen Teile

Bild 2.3.1: Umgebautes Kreismesser mit Abschaltvorrichtung auf dem neuen Zuschneidetisch, Ein-Mann-Betrieb

2.3.3 Versuchsdurchführung

<u>- Innerbetrieblicher Transport</u>

Entsprechend den gemeinsamen Absprachen mit den Kooperationspartnern wurden die Vliese in Rollen bei der Flexitex GmbH angeliefert und zwischengelagert. Je nach Versuchsprogramm wurde die entsprechende Rollenanzahl zur die vorbereiteten Fläche transportiert und auf eine eigens dafür angefertigte Abrollvorrichtung gebracht. Nach dem Zuschnitt der entsprechenden Anzahl von Teilen wurden diese an den Näharbeitsplatz transportiert. Die fertig konfektionierten Teile wurden zusammengelegt und auf Paletten gestapelt.

Im Anschluss daran wurden je nach Versuchsplan die vollen Paletten oder auch einzelne Teile über den Aufzug zurück ins Lager transportiert.

Während der Herstellung erfolgte eine ständige Kennzeichnung der Versuche, so dass die ständige Zuordenbarkeit zu den Versuchsreihen gegeben war.

- Entwicklung der Zuschneide- und Konfektionstechnologie

Die Zuschneidetechnologie wurde entsprechend dem Fortschritt in der Versuchsdurchführung verändert.

Anfangs wurden die Rollen von einer Welle über Lagerböcke abgezogen und auf einer Tafel abgelegt, jeder Containerzuschnitt mittels Rundmesser einzeln abgelängt und zwischengelagert. Die Führung des Rundmessers erfolgte per Hand. Auf Grund der Materialbreite waren zwei Personen für den Zuschnitt nötig - eine von der linken, eine weitere von der rechten Seite.

Nach verschiedenen weiteren Vorversuchen wurden späterhin die Container spannungslos abgelängt, um ein Relaxieren der gedehnten Teile zu vermeiden. So konnten anfänglich aufgetretene Längendifferenzen vermieden werden.

Zum Schneiden der Containerteile wurde eine Vorrichtung gebaut, um die sehr großen Teile maßgerecht und kantengerade herzustellen. Diese Vorrichtung besteht aus einem Rundmesser, das mittels Hebel in einer Führung läuft und dabei den Stoff sauber trennt. Über eine Abschaltvorrichtung wird das Messer außer Betrieb gesetzt, sobald es nicht mehr benutzt wird. Dann kann es zurück gezogen werden. Diese Vorrichtung hat sich im Laufe der Projektbearbeitung bewährt (s. Bild 2.3.1)

- Maschinentechnik Konfektion

Zum Nähen der geotextilen Container wurden verschiedene Maschinentypen untersucht, insbesondere

- Überwendlichnähmaschine
- Geradstrichnähmaschine für schwere Materialien
- Sacknähmaschine mit Kettenstichnaht
- Pelznähmaschine Strobel

Bild 2.3.2: Ein-Hand-Kettenstichmaschine

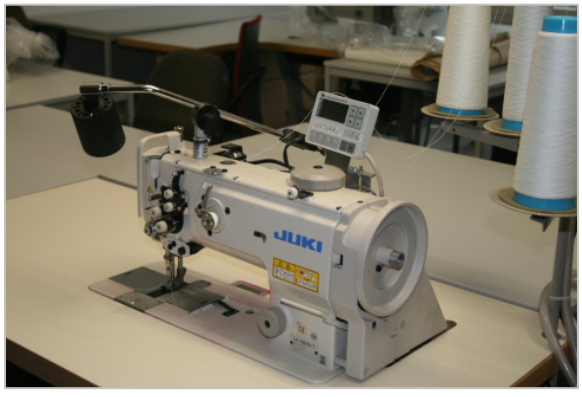


Bild 2.3.3: Zwei-Nadel-Nähmaschine Juki

Bild 2.3.4: Umgebaute Überwendlich-Nähmaschine

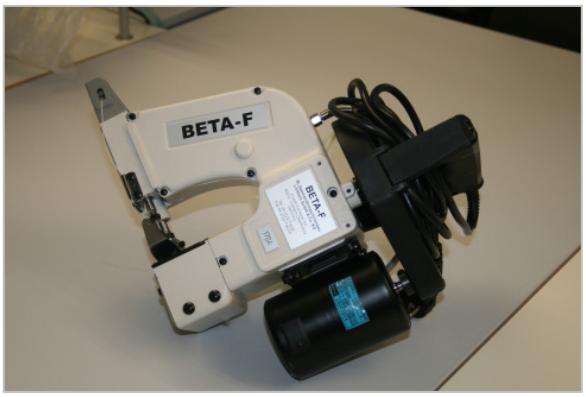


Bild 2.3.5: Handnähmaschine Beta- F

Weiterhin wurden Nähgarne verschiedener Stärken und Hersteller verwendet:

- Amann PAX X 80
- Alterfil S 35
- Gripolene-Polypropylen, Tewecord, 670 tex

Das relativ dicke Vlies war schwierig zu vernähen. In entsprechenden Versuchsreihen wurde eine abgestimmte Einstellung von Nadelstärke, Garnstärke und Materialtransport ermittelt. Weitere Einzelheiten s. [37].

An ausgewählten Nahtproben wurden im STFI Prüfungen zur Bestimmung des Kraft-Dehnungsverhaltens, der Reißfestigkeit etc. durchgeführt. Im Ergebnis dessen ist eine Maschine durch Umbaumaßnahmen auf die speziellen Bedingungen angepasst worden. Dabei wurden standardisierte Baugruppen einer Überwendlichnähmaschine Typ 8520 ausgetauscht sowie mit einer speziellen Transportvorrichtung für schwere Materialien ergänzt. Durch Modifizierung von Baugruppen wurde eine sehr haltbare Überwendlich-Naht erreicht, die für Vliesstoffe unterschiedlicher Flächenmasse und Dicke geeignet ist, so dass sie die vorgegebenen Anforderungen hinsichtlich der Haltbarkeit erfüllt. Auch die Vernähbarkeit des Vlieses mit Gitter und Klettstreifen war somit gegeben.

Das am besten geeignete Nähgarn für den vorgegebenen Einsatzzweck ist Gripolene Polypropylen, Tewecord (blau).

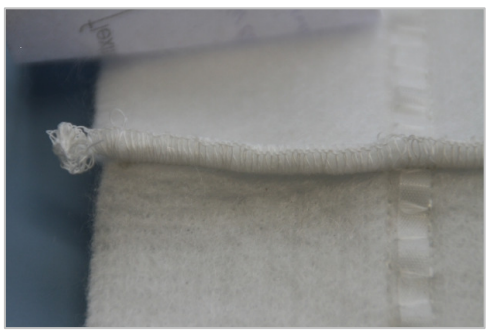


Bild 2.3.6: Überwendlichnaht mit Amann-Garn

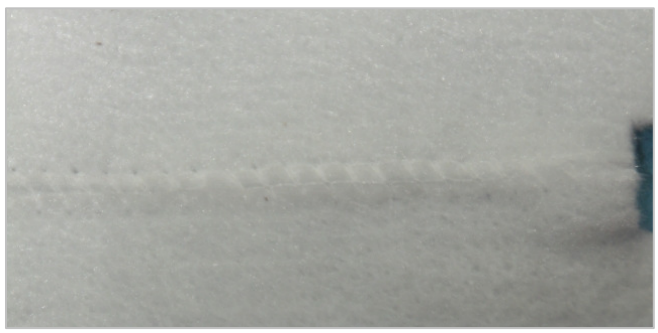


Bild 2.3.7: Überwendlichnaht, Strobel-Nähmaschine

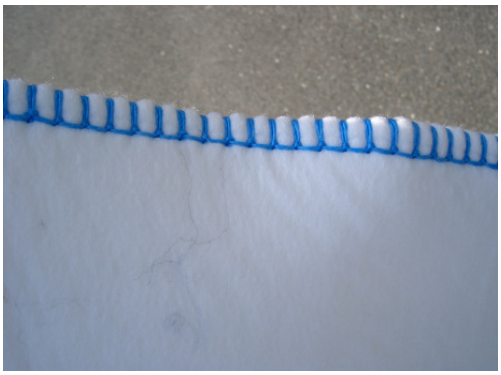


Bild 2.3.8: Überwendlichnaht der 8520 mit Gripolene-Polypropylen

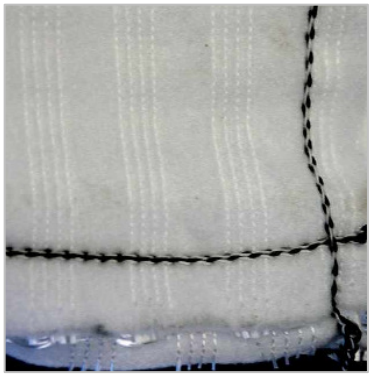


Bild 2.3.9: Kettenstichnaht mit Ein-Hand-Nähmaschine

- Maschinentechnik Zuschnitt

Der Zuschnitt der Teile erfolgte zunächst mit einem Stoßmesser. Das hat sich nicht bewährt. In einem weiteren Versuch wurden die Teile mit dem Rundmesser grob vorgetrennt und nach dem Relaxieren mit dem Bandmesser auf die exakte Länge nachgeschnitten. Aufgrund der aufwändigen Verfahrensweise wurde der Ablauf weiter verändert und die oben beschriebene Zuschneidetafel mit Abläng- und Messvorrichtung gebaut. So war es möglich, den Vliesstoff lagenweise kantengerade aufzulegen und mittels Rundmesser in exakter Länge sauber zu trennen. Für eine Serienproduktion kann dieser Ablauf problemlos automatisiert werden.

- Transport, Lagerung und Versand

Es wurden Möglichkeiten recherchiert, wie der in der Herstellung und beim Endanwender unerwünschte Nebeneffekt (Kletteffekt) minimiert oder eliminiert werden kann (z. B. anlässlich der Messe „Techtextil“ in Frankfurt im Juni 2007). Der Einsatz von Folie als Zwischenlage wurde dabei favorisiert.

Während der Bearbeitungsprozesse wurden die klettfähigen Teile so gelegt, dass zwischen ihnen minimaler Kontakt auftrat. Das ließ sich durch lange Tafeln realisieren, auf denen die Teile einzeln bewegt wurden. Beim Lagern wurden verschiedene Materialien als Zwischenlagen verwendet, z.B. Folie, Rollen- und Seidenpapier.

Bild 2.3.10: Lagerung mit Zwischenlagen aus Seidenpapier

Die Zwischenlagen wirken dem unerwünschten Kletteffekt entgegen, wurden aber aus ökologischer und ökonomischer Sicht verworfen. Auch im Gebrauch auf der Baustelle müssen die geotextilen Container möglichst einfach handhabbar sein.

Für die Versuchscontainer wurden in Absprache mit den Partnern die konstruktive Gestaltung sowie die Abmessungen von ca. 55 cm x 27 cm x 14 cm festgelegt. Die Bilder 2.3.10 und 2.3.11 zeigen die verwendete Containerkonstruktion. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen hinsichtlich der verfügbaren Arbeitsbreite der Versuchsmaschine musste mit einer Mittelnaht gearbeitet werden.

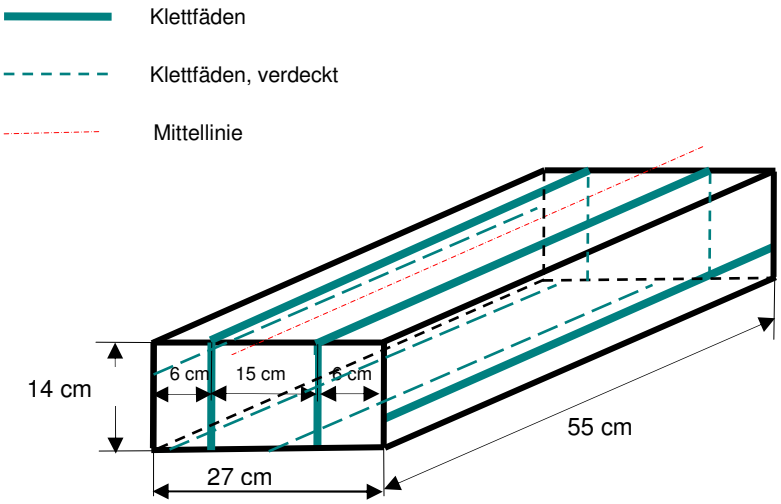


Bild 2.3.11: Schematische Anordnung der Klettfäden (ideale Quaderform)
(theoretisch, da auch bei Annäherung Konfektionsaufwand zu hoch!)

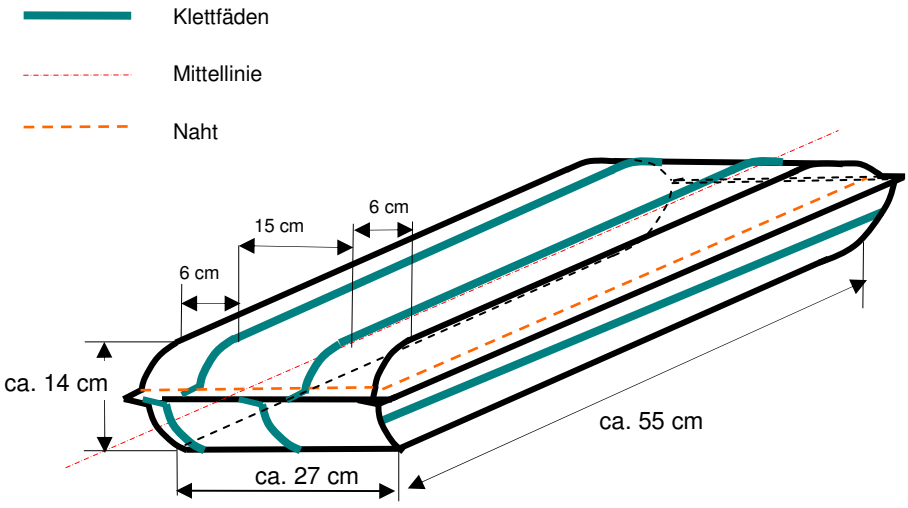


Bild 2.3.12: Containerform mit 1 Seitennaht und 2 Quernähten (idealisiert)

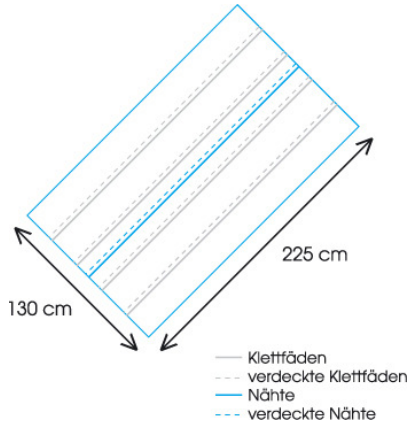


Bild 2.3.13: Containerkonstruktion mit Mittelnaht
(auf Grund der schmalen Arbeitsbreite der Versuchsmaschine)

Eine Quernaht bleibt für die Verfüllung offen und wird erst auf der Baustelle nach dem Sandeinfüllen mit einer Handnähmaschine geschlossen.

Ungünstig wirken sich Schwankungen der Materialdicke des Vliesstoffes aus. Dadurch hatten die Nahtränder eine unterschiedliche Dicke und damit auch Festigkeit, es kam teilweise zum Ausreißen der Ränder unter der tatsächlichen Belastung auf der Baustelle, wie der Test auf der Baustelle bei Bremerhaven zeigte. Aus diesem Grund wurden Container mit zu starker Abweichung der Randstärke ausgesondert.

Es ist notwendig, dass in jedem Fall eine ausreichende Mindestfestigkeit eingehalten wird.

2.3.4 Prüfung der Nahteigenschaften

Zur Charakterisierung der Ausgangsmaterialien sowie ausgewählter textiler Flächen und zur Beurteilung der Festigkeit der Nahtkonstruktion erfolgten im STFI textilphysikalische Prüfungen. Bild 2.3.14 zeigt Prüflinge für die Prüfungen in Querrichtung, Bild 2.3.15 die Prüflinge nach dem Bruch. In Tabelle 2.16 und Bild 2.3.16 sind die ermittelten Höchstzugkraft-Werte zusammengestellt.

a) Vorderseite b) Rückseite

Bild 2.3.14: Prüflinge zur Bestimmung der Nahtfestigkeit in Querrichtung

a) quer

b) längs

Bild 2.3.15: Prüflinge zur Bestimmung der Nahtfestigkeit nach Erreichen der Höchstzugkraft

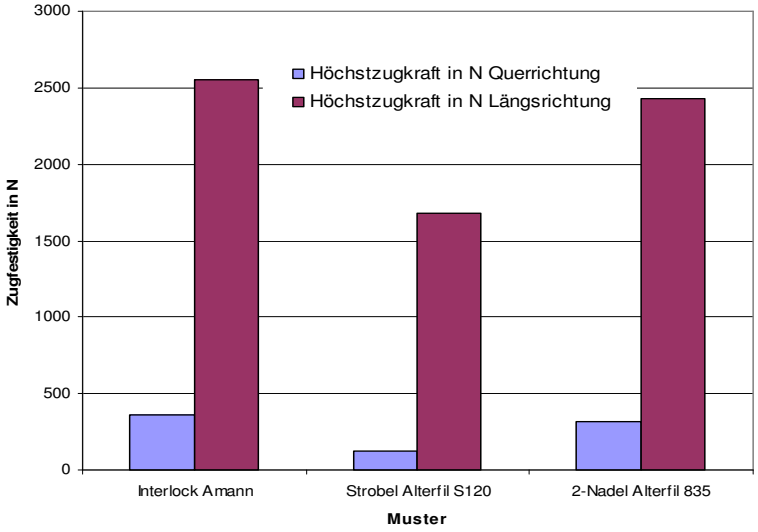


Bild 2.3.16: Ergebnisse der Nahtzugfestigkeitsprüfungen

Tabelle 2.17: Ergebnisse zum Naht-Zugversuch nach DIN EN 13935-1

		Höchstzugkraft in N	
Nr	Muster	Querrichtung	Längsrichtung
1	Interlock Amann	360,38	2554,27
2	Strobel Alterfil S120	125,18	1678,01
3	2-Nadel Alterfil 835	320,98	2431,44

2.3.5 Optimierungsarbeiten

Zur Optimierung wurden auf der Grundlage der Ergebnisse der Vorversuche weitere Untersuchungen in der Fa. Flexitex GmbH durchgeführt. Der Zuschnitt wurde optimiert, indem die Relaxation des Materials berücksichtigt wurde. Da der Vliesstoff unter Spannung aufgewickelt worden war, schrumpfte die Ware nach dem Zuschnitt zusammen. Dieser Schrumpf, der je nach Vorspannung bis zu 10% betrug, wurde ermittelt und bei den Optimierungsversuchen berücksichtigt.

Um eine stabile und sichere Naht zu erhalten, wurde darauf geachtet, dass die Ränder der zu verbindenden Teile gleich etwa gleiche Dicke hatten. Teile mit unterschiedlich dicken Rändern wurden ausgesondert (Dickenmessung am zu vernähenden Vliesstoff).

Auf Grund der Erfahrungen aus dem ersten Feldtest wurden die Enden der Nähfaden (= Wirkfaden Franse-Bindung), mit denen die Klettstreifen auf dem Vliesstoff eingebunden waren, durch Verkleben gesichert.

Zwischen die Container wurden während der Produktion Papierlagen gelegt, um ein unerwünschtes Zusammenhaften der Teile zu vermeiden.

- Technische Bedingungen bei der Konfektion der Container für die Feldversuche:

Nahtmaterial:	GRIPOLENE Polypropylen single, Feinheit 660 tex
Nähmaschinentyp:	SL- Klasse 8520/43
Stichlänge:	10 mm
Nahtkonstruktion:	Einnadel-Zweifaden-Überwendlich-Naht
Vlies:	600 g/m², Fa. Naue
Rollenbreite:	68 cm[2]

Zuschnittmaße der geotextilen Container: 450 x 65 cm

Fertigmaße der geotextilen Container: 225 x 130 cm (mit Mittelnaht, innen liegend)

Für die Feldtests wurde jeweils die vorgegebene Menge an Containern mit Klettstreifen sowie zu Vergleichszwecken die gleiche Anzahl ohne Klettstreifen angefertigt.

Versuchsdurchführung:

Die Anlieferung des Vliesstoffs bzw. Vliesstoff-Klettstreifen-Verbundmaterial bei der Firma Flexitex GmbH erfolgte als Rollenmaterial (Breite 68 cm). Das Material wurde von der Rolle abgewickelt und auf Länge geschnitten (doppelte Länge des Containers). Für die vorgesehene Fertigbreite von 130 cm wurden zwei Bahnen längs mit einer Mittelnaht zusammengenäht.

Aus dieser Bahn wurden Zuschnittteile von 450 x 130 cm gefertigt, mittig gefaltet und beide Außenkanten miteinander vernäht (Fertigmaß 225 x 130 cm, doppelt flach, Bild 2.3.8). Das Schließen der Container (Quernaht) erfolgte nach dem Befüllvorgang mittels Handnähmaschine (Kettenstichnaht) auf der Baustelle.

Die Container wurden mit der Papierzwischenlage auf Paletten gestapelt, ordnungsgemäß verpackt und an den entsprechenden Partner für die Durchführung der Feldversuche versandt.

[2] Diese Breite ergab sich aus der verfügbaren Arbeitsbreite der Nähwirkmaschine. Bei einer Serienproduktion ist von der Konfektionierung ohne Mittelnaht auszugehen.

2.4 Theoretische, experimentelle und numerische Untersuchungen zum Tragverhalten von geotextilen Containern[1]

2.4.1 Allgemeines

Geotextile Container (im Folgenden als Container bezeichnet) bestehen aus einem Füllmaterial (i. d. R. einem nichtbindigen Boden) und einem Geokunststoff, welcher in Form von Schläuchen und Säcken das Erdmaterial umhüllt und dieses verpackt.

Der Vorteil der Container ist in der hohen Wirtschaftlichkeit, der Einsparung natürlicher Ressourcen, da i. d. R. aufgrund des vor Ort vorhandenen Füllmaterials lange Transportwege vermieden werden, sowie in der besseren Einpassung in die Landschaft im Vergleich zur harten Bauweise aus Beton und der einfacheren Rückbaubarkeit zu sehen. Als nachteilig ist dagegen, wie bereits erwähnt, die glatte Oberfläche der Container zu sehen, da dadurch nur eine geringe innere Standsicherheit gegeben ist. Um diesen Nachteil zu beseitigen, wurden auf dem Geokunststoff Klettstreifen appliziert, um eine höhere Verbundspannung zu erzielen.

Um den Einfluss des Klettstreifens zu untersuchen, wurden theoretische, experimentelle und numerische Untersuchungen durchgeführt, die im Folgenden vorgestellt werden.

2.4.2 Grundlagen zum Tragverhalten von Containern

Die Vorgänger der Container waren kleine Sandsäcke, die i. d. R. beim Hochwasserschutz zur temporären Verstärkung von Deichen dienten. Heutzutage können Container in den unterschiedlichsten Formen und Größen hergestellt werden, siehe *Heibaum (2002)*.

Container wurden in den letzten Jahren erfolgreich zur Kolksicherung *(Saathoff/Witte, 1994)*, als Erosionsschutzmaßnahmen an Dünen und Deichen *(Heerten et al. 2000)*, als Buhnenbauwerke *(McClarty et al., 2006)* oder als künstliche Riffe oder Wellenbrecher *(Jackson/Hornsey, 2003)* verwendet. Ergänzend ist eine Verwendung als Stützkonstruktion denkbar, welches in Abschnitt 2.4.3.3 weiter untersucht wird.

Es sind Volumina von kleinen Handsäcken über mehrere Kubikmeter bis hin zu 1000 m^3 bei den geotextilen Schläuchen möglich, siehe *Pilarczyk (1997)*.

---

[1] Abschnitt 2.4 wurde maßgeblich durch die Universität Kassel erarbeitet.

Zur Bemessung eines Containers oder eines Bauwerks aus Containern sind keine allgemeingültigen Vorgehensweisen bekannt. Die Stabilität eines Containers hängt hauptsächlich vom Verformungsverhalten jedes einzelnen Containers, der Spannungsverteilung und der Bewegung der einzelnen Sandkörner im Container, dem Füllgrad und dem Verbundverhalten der Container zueinander ab, siehe *Recio/Oumeraci (2005)*.

Aufgrund fehlender allgemeingültiger Formeln sollte die Bemessung projektbezogen erfolgen. Im Folgenden sind die wichtigsten Erkenntnisse aus der Literatur zusammengefasst.

Der optimale Füllungsgrad der Container beträgt ca. 80 %, siehe *Oumeraci et al. (2002).* Sowohl bei größeren oder geringeren Füllungsgraden reduziert sich die Stabilität der Container. Ein zu geringer Füllungsgrad erleichtert Umlagerungseffekte des Füllmaterials, da die Containerhülle das Material nicht stark genug zusammenpresst. Bei einem zu hohen Füllungsgrad verschlechtert sich die Anschmiegsamkeit der Container an benachbarte Elemente, wodurch die Haftreibung zueinander abnimmt und sich die Stabilität verringert.

Als Füllmaterial ist feinkörniges Material grobkörnigem vorzuziehen, da die Container gefüllt mit erstgenanntem eine bessere Formanpassung aufweisen *(Oumeraci et al., 2002)*.

Zusätzlich ist nach *Oumeraci et al. (2002)* der Überlappungsgrad der Container ein entscheidender Einfluss zur Erhöhung der Tragfähigkeit. Dies soll an einem mit Containern verstärkten Deich unter einer orthogonal zur Bauwerksachse anlaufenden Wellenbelastung näher erläutert werden. Bei einer zunehmenden Überlappung reduziert sich die Angriffsfläche eines einzelnen Containers gegenüber der Wellenbelastung. Zusätzlich werden die Container durch die Auflasten der darüber angeordneten Elemente gestützt. Wenn zusätzlich ein optimaler Füllungsgrad vorhanden ist, erhöht sich die Kontaktfläche der Container zueinander und die zwischen den Elementen liegenden Zwickel werden minimiert. Diese Überlegung führt auch dazu, dass die Container mit ihrer Längsachse orthogonal zur Bauwerksachse mit einem maximalen Überlappungsbereich angeordnet werden sollten. Bild 2.4.1 verdeutlicht dabei die vorangegangenen Überlegungen, wobei im Einzelnen in Bild 2.4.1a eine geringe Kontaktfläche aufgrund eines zu hohen Füllungsgrades und in Bild 2.4.1c eine maximale Kontaktfläche aufgrund eines optimalen Füllungsgrades zu erkennen ist. Die Bilder 2.5.1b und d stellen bei den jeweiligen Füllungsgraden die qualitativ möglichen Kontaktflächen bei Überlappung dar.

Nach dem Füllvorgang werden die Container mit Nähten oder Klammern verschlossen, siehe auch Abschnitt 2.5.

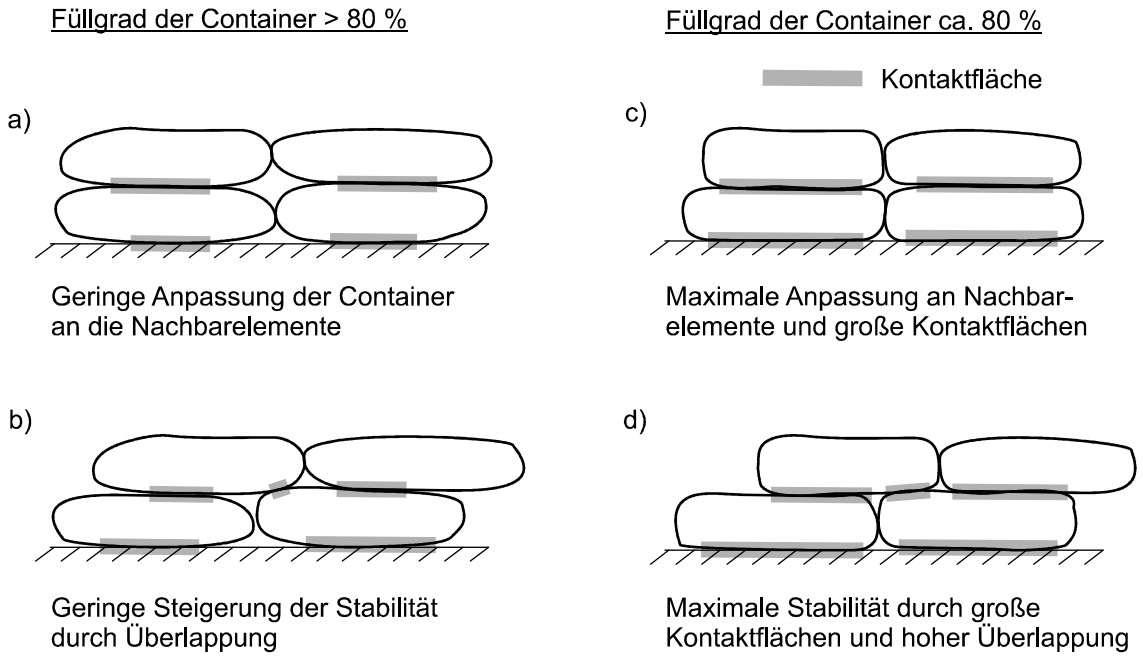

Füllgrad der Container > 80 %
Füllgrad der Container ca. 80 %
Kontaktfläche
a)
c)
Geringe Anpassung der Container an die Nachbarelemente
Maximale Anpassung an Nachbar-elemente und große Kontaktflächen
b)
d)
Geringe Steigerung der Stabilität durch Überlappung
Maximale Stabilität durch große Kontaktflächen und hoher Überlappung

Bild 2.4.1: Überlappung und Anpassungsfähigkeit der Container in Abhängigkeit des Füllgrades nach Oumeraci et al. (2002)

Als Füllmaterial ist bei den in der Literatur dokumentierten Bauvorhaben ein Sand mit einer Dichte ρ_d zwischen 1,4 und 2,0 g/cm^3 verwendet worden, siehe *Bezuijen et al. (2004)*. Das Füllmaterial muss auf die Durchlässigkeit des Geokunststoffes abgestimmt sein. Nach *Restall et al. (2004)* erhöht sich die Stabilität einer Containerstruktur, je schneller das Wasser daraus drainieren kann. Die Durchlässigkeit sollte mindestens 10mal höher sein als das Füllmaterial des Containers. Beachtet werden muss dabei aber, dass der Geokunststoff sich im eingebauten Zustand zuschlämmen und somit die im Labor an einer sauberen Probe bestimmte Durchlässigkeit herabsetzen kann.

Bei zunehmender Belastung antworten Container aus Vliesstoff nicht mit einer Spannungszunahme im Material, sondern mit einer höheren Dehnung. Von daher ist eine Bruchdehnung von mindestens 50 % empfehlenswert. Aufgrund der hohen Dehnbarkeit passen sich die Container Bodenunebenheiten und unterschiedlichen Setzungen gut an und haben aufgrund ihres Selbstheilungscharakters die Möglichkeit, unterschiedliche Verformungen in der Konstruktion auszugleichen. Eine hohe Dehnfähigkeit minimiert auch die Gefahr einer Beschädigung während des Einbaus, siehe *Heibaum (2002)*.

Im Küstenbereich unterliegen die Container einer ständigen Abrasion durch Sand- und Kiespartikel, hervorgerufen durch die Wellen, Strömungs- und Windbelastung. Mit Hilfe des Abrasionsversuches wird der Abrasionswiderstand des Geotextils getestet. Nach 80.000 Umdrehungen in einem Wasser-Kies Gemisch sollte das Geotextil eine verbleibende Zugfestigkeit von mindestens 75 % aufweisen, siehe *Restall et al. (2004)*.

Des Weiteren sollte der Container eine hohe Bruchdehnung und Durchstoßfestigkeit gegenüber Treibholz und Bootsstößen, aber auch gegenüber Vandalismus (z. B. Messerstiche) aufweisen. Außerdem sollte in kälteren Regionen eine Treibeisbelastung beachtet werden.

Der UV-Widerstand stellt in Regionen mit starker Sonneneinstrahlung (z. B. Afrika, Australien, Mittlerer Osten) einen entscheidenden Faktor für die Dauerhaftigkeit des Materials dar. Treffen UV-Strahlen auf ein Polymer, so wird die Polymerkette durch eine photochemische Reaktion in Teile gespalten, wodurch das Material seine Festigkeit verliert und brüchig wird. Die Bestrahlung wird in *kLy* (kilo Langley) gemessen. Diese Einheit gibt die Energiebestrahlung eines cm^2 pro Jahr an. In Deutschland liegt dieser Wert zwischen 80 und 100. In Afrika werden über 200 kLy erreicht. Die Prüfung findet mit Hilfe einer MBTF Lampe statt, bei der die Container einer intensiven UV Strahlung von 672 Stunden ausgesetzt werden. Dieses ist äquivalent zu einer Langzeitbelastung von ca. 10 Jahren. Nach Versuchsdurchführung wird das Materialverhalten überprüft. Die Zugfestigkeit sollte mindestens 80 % des Ausgangswertes aufweisen. Weitere Informationen sind *Restall et al. (2004)* zu entnehmen.

Weitere Informationen und Hinweise zur Bemessung von Containern sind in *Heibaum et al. (2008)* gegeben.

Es liegen keine Kenntnisse über systematische Untersuchungen zur Erhöhung der Verbundwirkung der Container mittels Klettstreifen vor.

2.4.3 Untersuchungen zum Verhalten der Container im Verbund

2.4.3.1 Allgemeines

Um das Verhalten der Container im Verbund zu untersuchen, wurden Scherversuche an unterschiedlichen Proben und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Randbedingungen durchgeführt. Des Weiteren wurde eine Stützkonstruktion aus Containern im Maßstab von ca. 1:3 nachgebildet und belastet sowie diese Ergebnisse weiter numerisch untersucht.

2.4.3.2 Scherversuche

2.4.3.2.1 Allgemeines

Um eine Aussage über die Stabilität einer Konstruktion treffen zu können, ist die Reibung zwischen den einzelnen Containern von entscheidender Bedeutung. Dazu sind Reibungsversuche in Klein- und Großrahmenschergeräten durchgeführt worden, um eine allgemeine Eignung der Klettstreifen zur Erhöhung des Verbundes zwischen Containern näher zu erforschen.

Die Reibungseigenschaften werden nach *DIN EN ISO 12957-1 (2005)* in einem Kastenrahmenschergerät überprüft und das Ergebnis als Reibungswinkel φ angegeben, welches die Steigung der Regressionsgeraden in der Darstellung Höchstscherspannung über Normalspannung in Grad angibt.

Bei einem Rahmenscherversuch werden beide Probekörper separat in zwei Rahmen eingespannt und aufeinander gelegt. Aus einer kraft- oder weggesteuerten horizontalen Verschiebung eines Rahmens resultiert eine Scherkraft T und ein Scherweg s, über die die in der Verbundfuge wirkende Scherspannung τ ermittelt werden kann. Die Scherkraft T ist sowohl von der Material- und Oberflächenbeschaffenheit der Probenkörper als auch von der Normalkraft N abhängig. In Bild 2.4.2 ist eine Prinzipskizze eines Rahmenscherversuches gegeben. Weitere Informationen sind *DIN 18137-3:2002-09* zu entnehmen.

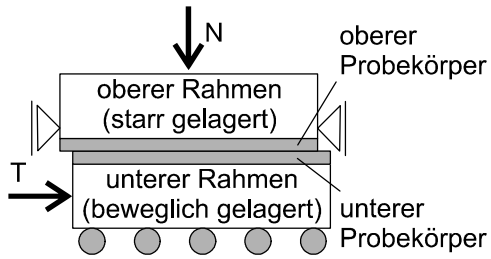


Bild 2.4.2:
Prinzip eines Rahmenscherversuches

Die Probekörper wurden vollflächig auf einen Distanzkörper (Holzspanplatte) geklebt, siehe *GDA (1997)*. Es wurde ein Kontaktklebstoff auf Polychloroprenbasis verwendet. Dieser wurde sparsam verwendet, sodass kein Klebstoff durch den Porenraum gelangen und somit die Messwerte verfälschen konnte. Die Versuche wurde weggesteuert mit einer Vorschubgeschwindigkeit von $v = 1$ mm/Min durchgeführt. *DIN EN ISO 12957-1 (2005)* gibt als Richtwert eine Normalspannung in der Größenordnung von $\sigma_N = 50$ kN/m^2 bis $\sigma_N = 150$ kN/m^2 an.

Insgesamt wurden drei unterschiedliche Vliesstoffe und ein Gewebe sowie sechs unterschiedliche Varianten Klettmaterial untersucht.

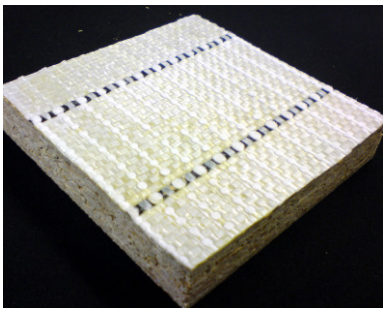
In Bild 2.4.3 und 4 sind die untersuchten Vliesstoffe und Gewebe bzw. die Klettstreifen dargestellt. Für eine Beschreibung der verwendeten Proben siehe Abschnitt 2.2.2.

Vliesstoff, flauschig, Flächengewicht 500 g/m^2

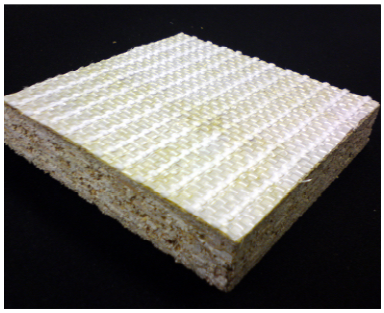
Anmerkung:
Optisch ist kaum ein Unterschied zwischen dem flauschigen und vernadelten Vliesstoff festzustellen. Deswegen ist hier nur das vernadelte dargestellt.

Vliesstoff, vernadelt, Flächengewicht 500 g/m^2

Vliesstoff, vernadelt mit aufgenähtem Loop-Material, Flächengewicht 500 g/m^2



Gewebe mit Klettstreifen



Gewebe ohne Klettstreifen

Bild 2.4.3:Darstellung und Bezeichnung der verwendeten Vliesstoffe und Gewebe

Die Klettstreifentypen 1 bis 4 waren einseitig klettbar und wurden auf den Vliesstoff genäht. Die Klettstreifentypen 5 und 6 dagegen waren doppelseitig klettbar und wurden den Vliesstoffen nur aufgelegt.

Im Folgenden werden die wichtigsten Erfahrungen und Erkenntnisse aus den Rahmenscherversuchen vorgestellt. Alle durchgeführten Scherversuche sind zusätzlich im Anhang A.1 dokumentiert.

ANMERKUNG: Der Klettstreifentyp 6 stand erst kurz vor Ablauf des Forschungsprojektes zur Verfügung. Daher war es aus zeitlichen Gründen nicht mehr möglich diesen ausgiebig zu testen. Somit wurden nur die einschlägigen Versuche mit diesem durchgeführt.

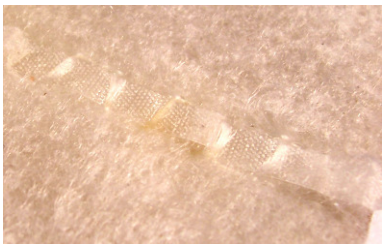
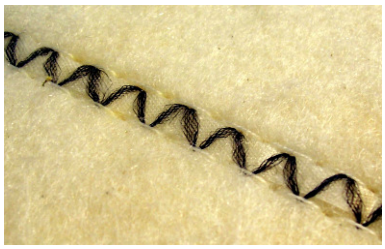
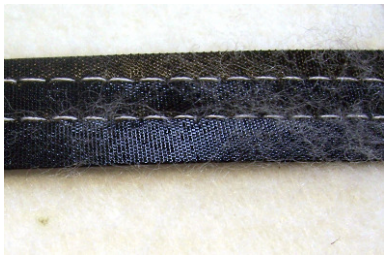
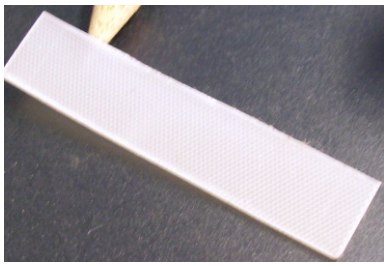
 Klettstreifentyp 1 (Herstellerkennung: 65 445)	 Klettstreifentyp 2 (Herstellerkennung: 025 445, s. Bild 2.2.1)	 Klettstreifentyp 3
Klettstreifentyp 4	Wie Klettstreifentyp 4 nur mit beidseitiger Klettfunktion, der somit nicht aufgenäht werden musste. Klettstreifentyp 5	 Klettstreifentyp 6

Bild 2.4.4:Darstellung und Bezeichnung der verwendeten Klettstreifen

2.4.3.2.2 Wirksamkeit des Klettstreifens

Um einen ersten Überblick über die Wirksamkeit des Klettstreifens zu geben, sind in Bild 2.4.5 die Ergebnisse der Scherversuche für ausgewählte Klettstreifentypen im Vergleich zu einer Scherprobe ohne Klettstreifen dargestellt. Der Einfluss des Klettstreifentyps auf die Tragfähigkeit wird in Abschnitt 2.4.3.2.4 untersucht.

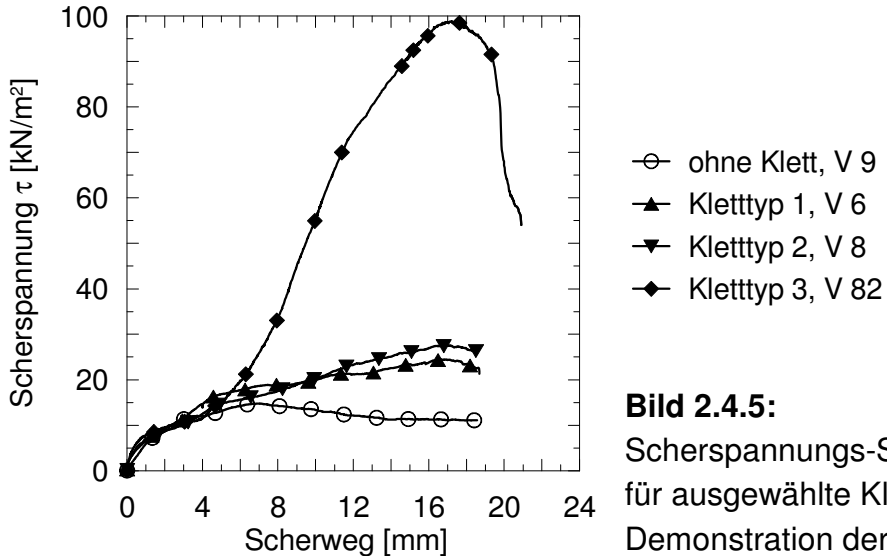


Bild 2.4.5:
Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für ausgewählte Klettstreifentypen zur Demonstration der Wirksamkeit

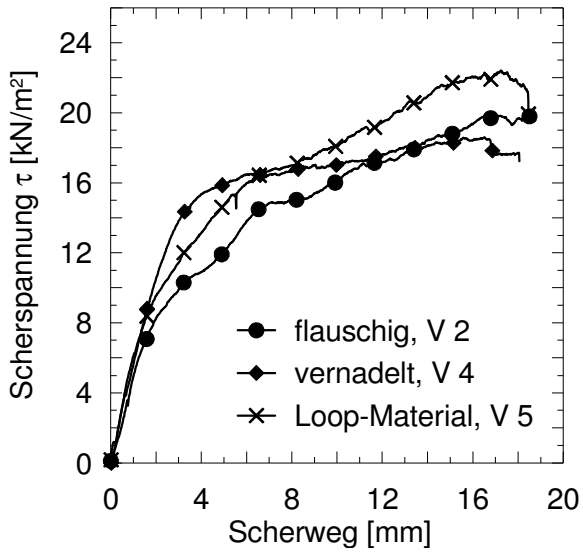
Es ist deutlich zu erkennen, dass bei gleicher Auflast unter Laborbedingungen ein signifikanter Unterschied in der maximal übertragbaren Scherspannung vorhanden ist. Ein Klettstreifen trägt somit eindeutig zur Erhöhung der Tragfähigkeit bei.

2.4.3.2.3 Einfluss unterschiedlicher Vliesstoffe und Gewebe

Zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Vliesstoffe und Gewebe wurden vier unterschiedliche Trägermaterialien verwendet. Diese waren Vliesstoffe mit einem Flächengewicht von 500 g/m^2 und ein Gewebe.

Die Synthesefasern der Vliesstoffe waren sowohl flauschig als auch mechanisch fest vernadelt. Die Ergebnisse aus den Rahmenscherversuchen sind in Bild 2.4.6a dargestellt. Bezüglich der Tragfähigkeit ist bei den untersuchten Vliesstoffen kein signifikanter Unterschied feststellbar. Auffallend war jedoch, dass beim flauschigen Vliesstoff deutlich mehr Fasern durch den Klettstreifen während des Abschervorgangs ausgerissen worden sind als beim vernadelten Vliesstoff, siehe Bild 2.4.6b.

a)



b)

Bild 2.4.6:a) Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für unterschiedliche Vliesstoffe;
b) Ausgerissene Fasern am flauschigen Vliesstoff

Mit Hilfe eines Loop-Materials[2], welches auf das vernadelte Vliesstoff aufgenäht worden ist, sollte versucht werden, das Ausreißen der Fasern zu verringern. Das Loop-Material verhinderte zwar ein Ausreißen der Fasern, dennoch ist damit keine deutliche Tragfähigkeitserhöhung im Vergleich zu den flauschigen und vernadelten Vliesstoffen erkennbar gewesen, siehe Bild 2.4.6a. Zusätzlich ist das Loop-Material mehrmals beim Schervorgang beschädigt worden, weswegen diese Ausführung nicht weiter verfolgt worden ist. Für die weiteren Untersuchungen wurde das verna-

[2] Brushed Loop-Material, Fa. Nordenia

delte Vliesstoff verwendet, da es bei diesem Vliesstoff zu einem geringeren Herausreißen der Fasern kam.

Ebenfalls wurde eine Gewebeprobe untersucht. Die Ergebnisse dazu sind in Bild 2.4.7 gezeigt.

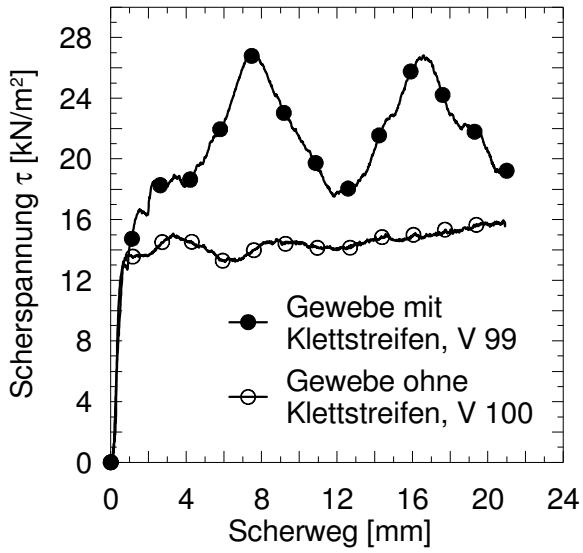


Bild 2.4.7:
Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für Gewebe

Die untersuchten Gewebe erzielten eine geringere Tragfähigkeit als die Vliesstoffe. Generell sind Gewebe nur für kleinere Container geeignet, da Gewebe eine deutlich geringere Bruchdehnung aufweisen als Vliesstoffe. Container aus Gewebe können somit bei stoßartigen Belastungen schneller platzen als Container aus Vliesstoff. Dennoch ist unter Verwendung von Klettstreifen eine Zunahme der Tragfähigkeit möglich. Der Sägezahnverlauf wird auf die Anordnung der Klettstreifen zurückgeführt. Eine mögliche Anwendung für Gewebe mit Klettstreifen wird in der Verwendung von kleinen Sandsäcken im Katastrophenschutz gesehen.

2.4.3.2.4 Einfluss unterschiedlicher Klettstreifentypen

Wie bereits in Bild 2.4.4 gezeigt, wurde eine Vielzahl an Klettstreifentypen untersucht, um eine Erhöhung der Scherspannung zu erzielen (nähere Angaben zu den untersuchten Klettstreifen siehe Abschnitt 2.2.2.1). In Bild 2.4.8 sind die Ergebnisse für die Klettstreifentypen 1 bis 3 und 6 dargestellt.

Generell kann gesagt werden, dass durch die Verwendung von Klettstreifen eine höhere Scherspannung möglich ist. Es fällt jedoch auf, dass der Klettstreifentyp einen deutlichen Einfluss auf das Ergebnis hat. Zwischen Klettstreifentyp 1 und 2 ist kein signifikanter Unterschied erkennbar. Die Klettstreifentypen 3 (342 Klettelemente/cm² (höchste Anzahl in den Versuchen), flexibler) und 6 (doppelseitig klettend, 288 Klettelemente/cm² pro Seite (hohe Anzahl)) erzielen eine deutliche Erhöhung der Scherfestigkeit, wobei die Ergebnisse des Versuches V 82 (Klettstreifentyp 6 - doppelseitig) signifikant über denen von Versuch V 82 liegen (Klettstreifentyp 3).

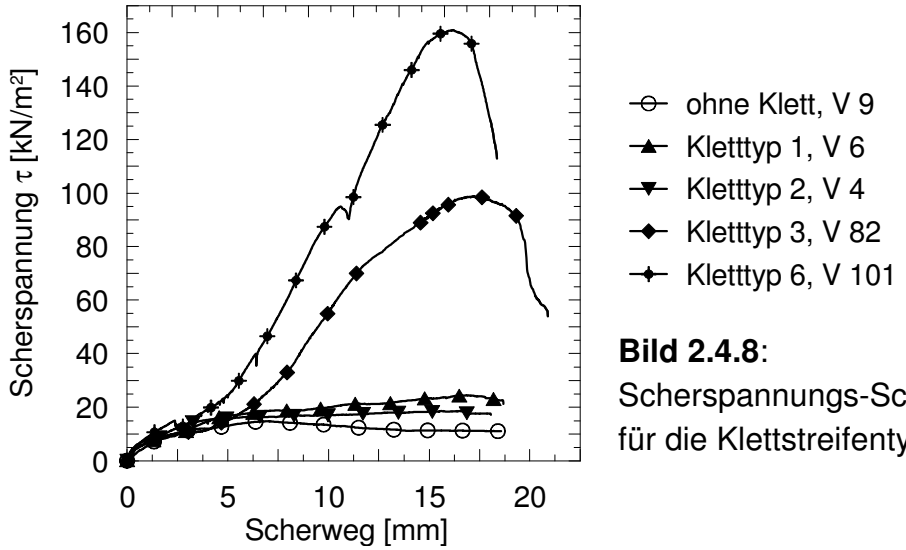


Bild 2.4.8:
Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für die Klettstreifentypen 1 bis 3 und 6

Wie in Bild 2.4.9 dargestellt, sind bei Klettstreifentyp 3 jedoch mehrmals einige Beschädigungen aufgetreten, indem der Klettstreifen in Nahtrichtung gerissen ist.

a) b)

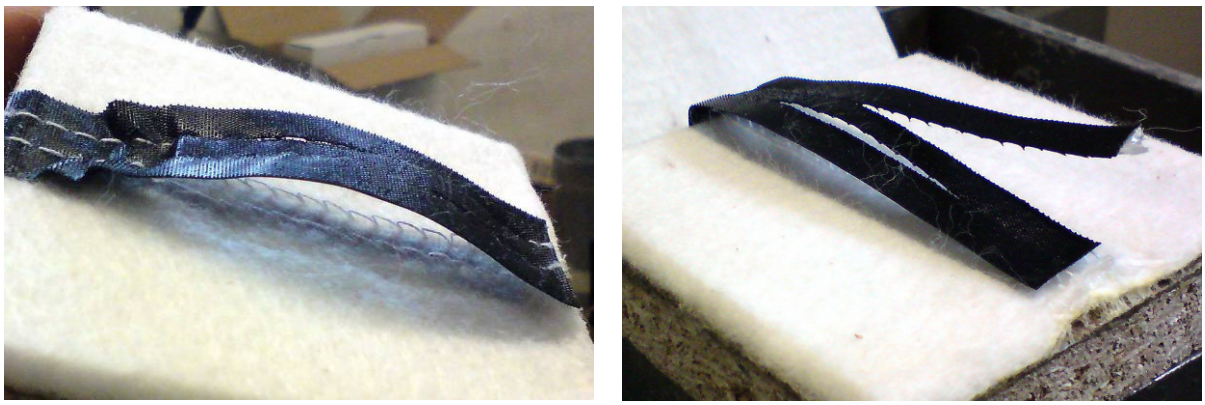
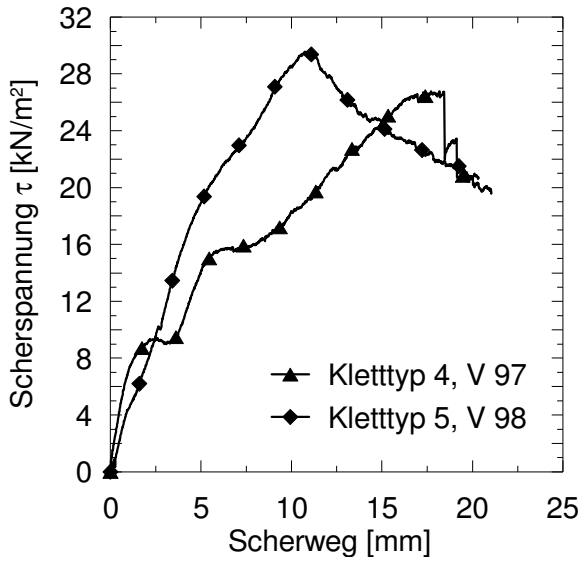


Bild 2.4.9:Während der Schervorgänge in Nahtlängsrichtung gerissener Klettstreifentyp 3; wie in Bild 2.4.9a unterhalb des Klettstreifens ersichtlich sind die Nähte intakt

In Bild 2.4.10 sind die Ergebnisse für den Klettstreifentyp 4 und 5 dargestellt. Da während des Abschervorgangs mehrfach die Nähte bei Klettstreifentyp 4 versagten, wurden mehrere Klettstreifen mit handelsüblichen Klebstoff zusammengefügt, sodass ein doppelseitiger Klettstreifen entstand. Da der Klettstreifentyp dennoch nicht die Scherfestigkeit wie Klettstreifentyp 3 oder 6 mobilisieren konnte, wurde diese Entwicklung nicht weiter verfolgt.

a)



b)

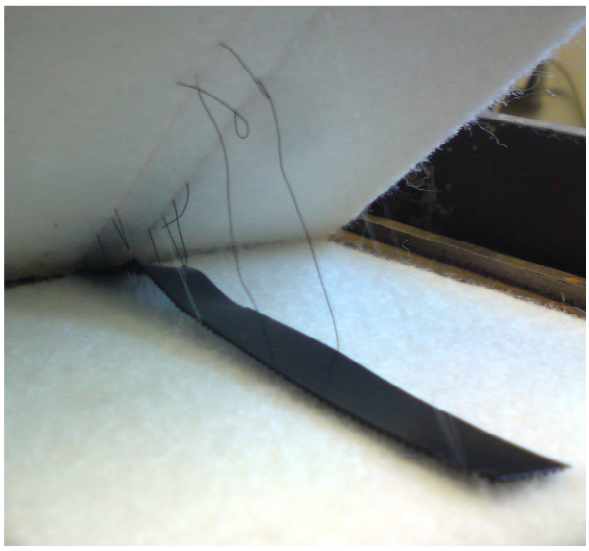


Bild 2.4.10: a) Scherspannungs-Scherweg-Diagramme für die Klettstreifentypen 4 und 5; b) Gerissene Nähte während des Abschervorgangs bei Klettstreifentyp 4

Unabhängig vom Klettstreifentyp wird eine Verschiebung von bis zu $s = 8$ mm benötigt, bis der Klettstreifen seine Wirksamkeit zeigt. Es wird vermutet, dass sich dabei die Fasern des Vliesstoffes ausrichten müssen um sich in dem Klettstreifen zu verhaken.

Die Scherspannung erreicht ein Maximum und fällt dann wieder deutlich ab. Dieses Verhalten tritt unabhängig vom Klettstreifentyp auf und findet sowohl im Kleinrahmenscherversuch als auch die Ergebnisse aus Abschnitt 2.4.3.2.8 vorwegnehmend im Großrahmenscherversuch auf. Im Kleinrahmenscherversuch liegt das Maximum bei einer Verschiebung von ca. $s = 10$ mm und im Großrahmenscherversuch bei ca. $s = 20 \div 40$ mm.

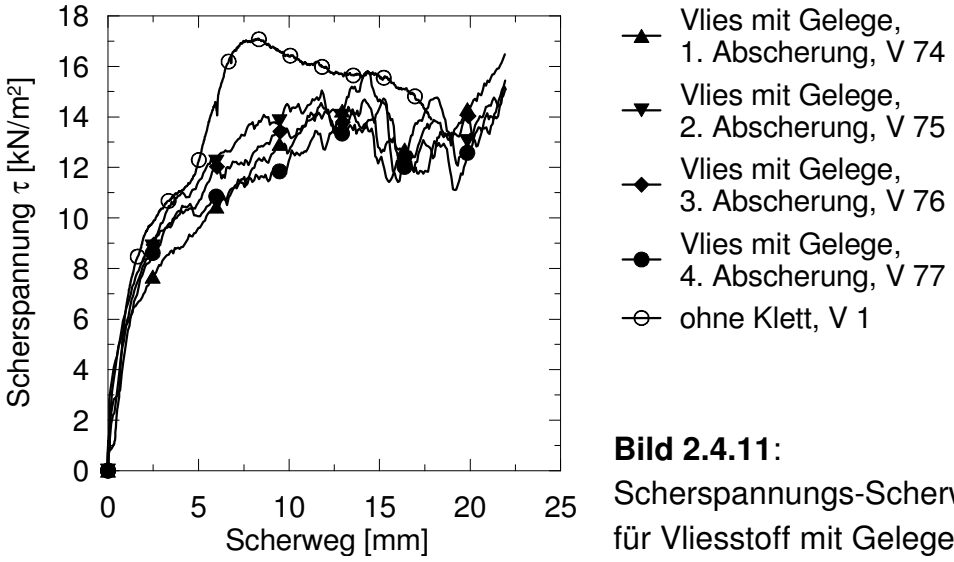

Scherspannung τ [kN/m²]
Scherweg [mm]
Vlies mit Gelege, 1. Abscherung, V 74
Vlies mit Gelege, 2. Abscherung, V 75
Vlies mit Gelege, 3. Abscherung, V 76
Vlies mit Gelege, 4. Abscherung, V 77
ohne Klett, V 1

Bild 2.4.11:
Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für Vliesstoff mit Gelege zum Verhaken

Um den Einfluss der Orientierung der Klettstreifen auf die Container zu untersuchen, wurde bei zwei Proben der Klettstreifen um 90° gedreht angeordnet, sodass die Abscherrichtung orthogonal dazu verlief. Die Ergebnisse zeigt Bild 2.4.12.

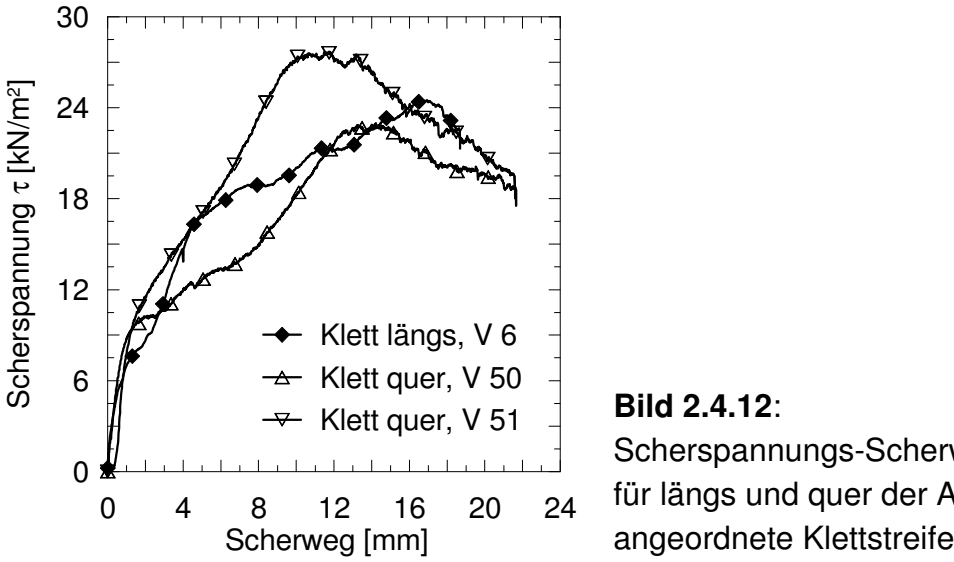


Bild 2.4.12:
Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für längs und quer der Abscherrichtung angeordnete Klettstreifen des Typs 1

Es fällt auf, dass die maximale Scherspannung bei den quer angeordneten Klettstreifen etwas früher auftreten als bei dem längs angeordneten. Obwohl die Versuche V 50 und V 51 identisch durchgeführt worden sind und somit als Wiederholungsversuche zueinander gelten, erreicht der Versuch V 50 einer geringere und Versuch V 51 eine höhere Scherfestigkeit als der Referenzversuch. Unter Berücksichtigung der Streubreite ist aber davon auszugehen, dass kein signifikanter Unterschied im Tragverhalten aufgrund der Anordnung der Klettstreifen vorhanden ist.

Die Erfahrungen bei den Feldversuchen haben gezeigt, dass die Container sich häufiger berührt haben und die Klettstreifen an den benachbarten Containern hafteten, siehe auch Abschnitt 2.5. Beim Lösen der Klettstreifen wurden einige Fasern aus dem Vliesstoff herausgerissen und hafteten sich an die Klettstreifen. Um den Ein-

fluss derartiger Situationen zu untersuchen, wurden einige Proben mehrmals abgeschert. Die Ergebnisse sind in Bild 2.4.13 dargestellt.

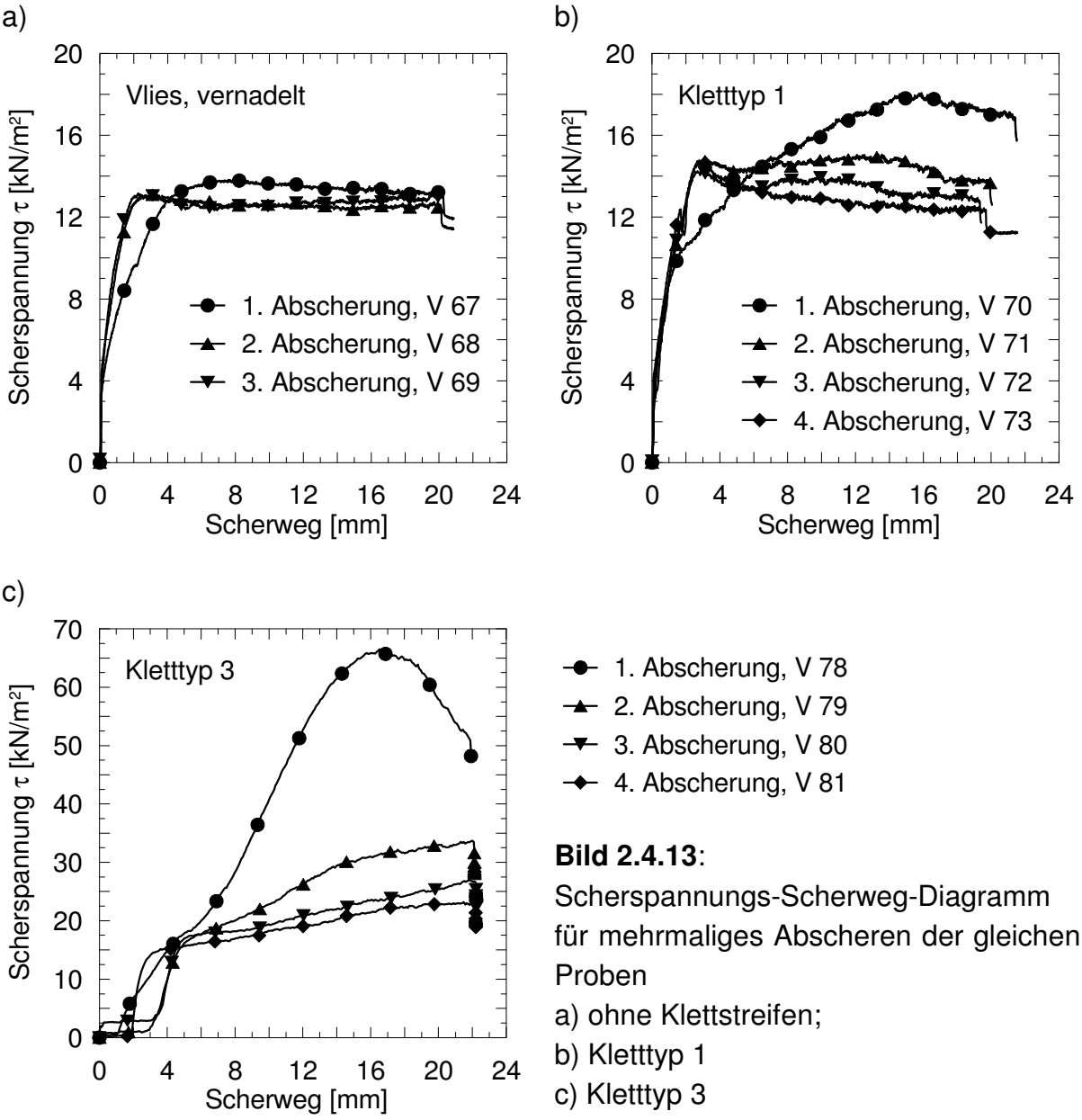


Bild 2.4.13:
Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für mehrmaliges Abscheren der gleichen Proben
a) ohne Klettstreifen;
b) Kletttyp 1
c) Kletttyp 3

Es fällt auf, dass selbst beim mehrmaligen Abscheren der Proben ohne Klettstreifen ein Unterschied in der maximalen Scherspannung auftritt, siehe Bild 2.4.13a. Die Anordnung der Vliesstofffasern ist ungeordnet. Von daher wird vermutet, dass beim ersten Schervorgang sich die Fasern in Scherrichtung ausrichten, wodurch beim zweiten Schervorgang eine geringere Scherspannung mobilisierbar ist.

Generell tritt aber schon beim zweiten Schervorgang ein deutlicher Tragfähigkeitsverlust ein, siehe Bild 2.4.13b und c. Nach dem dritten Schervorgang ist die Tragfähigkeit bereits annähernd vergleichbar mit der ohne Klettstreifen. Von daher wird empfohlen, darauf zu achten, dass die Klettstreifen vor Erreichen der endgültigen Liegeposition nicht in Kontakt mit anderen Containern kommen.

2.4.3.2.5 Einfluss von Verunreinigung und Sättigung

Um die Wirksamkeit des Klettstreifens durch Verunreinigungen während der Einbauphase zu untersuchen, wurden einige Scherversuche im gesättigten und verunreinigten Zustand durchgeführt.

Bild 2.4.14 zeigt den Einfluss einer gesättigten Probe auf die maximal zu übertragende Scherspannung.

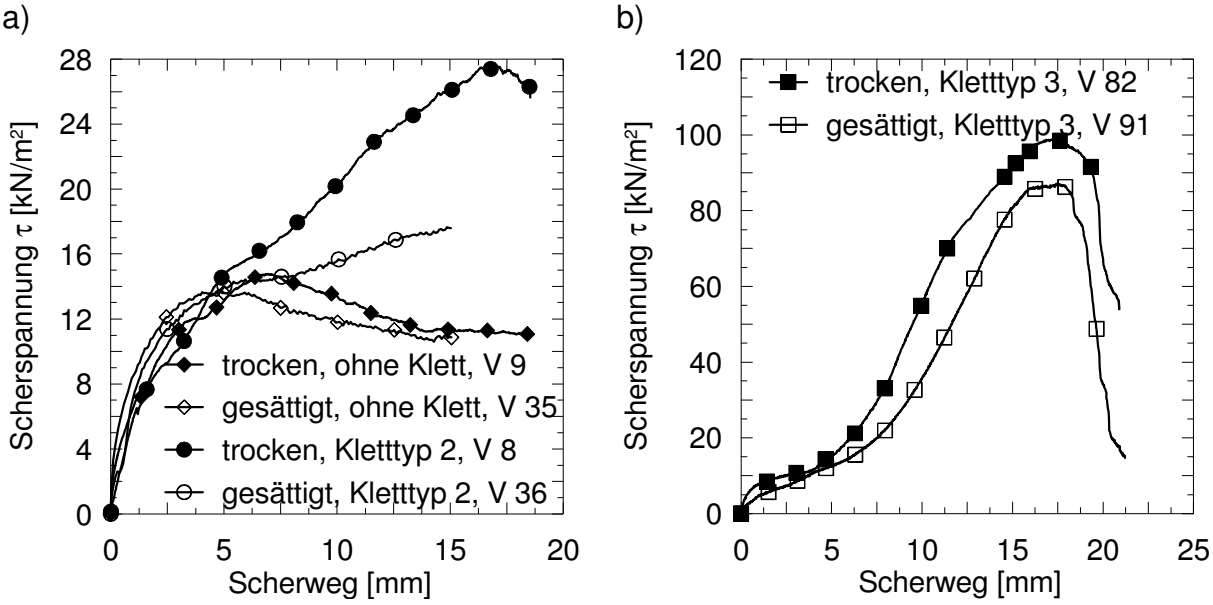


Bild 2.4.14: Scherspannungs-Scherweg-Diagramme für trockene und gesättigte Zustände; a) ohne Klettstreifen und Klettstreifentyp 2; b) Klettstreifentyp 3

Es lässt sich deutlich erkennen, dass im gesättigten Zustand im Vergleich zur trockenen Probe sowohl ohne als auch unter Verwendung von Klettstreifen eine geringere Scherspannung mobilisierbar ist. Beim Klettstreifentyp 2 fällt die Differenz sehr deutlich aus. Die Gründe für den Tragfähigkeitsverlust werden in den nassen Synthesefasern des Vliesstoffes gesehen, die sich in diesem Zustand schlechter mit dem Klettstreifen verbinden können.

Der verunreinigte Zustand wurde simuliert, indem 7,5 g Sand auf die Oberfläche der Probe gestreut worden ist, siehe Bild 2.4.15. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigt Bild 2.4.16.

Bild 2.4.15:
Mit Sand bestreute Probe, um den Einfluss von Verunreinigungen während der Einbauphase zu simulieren

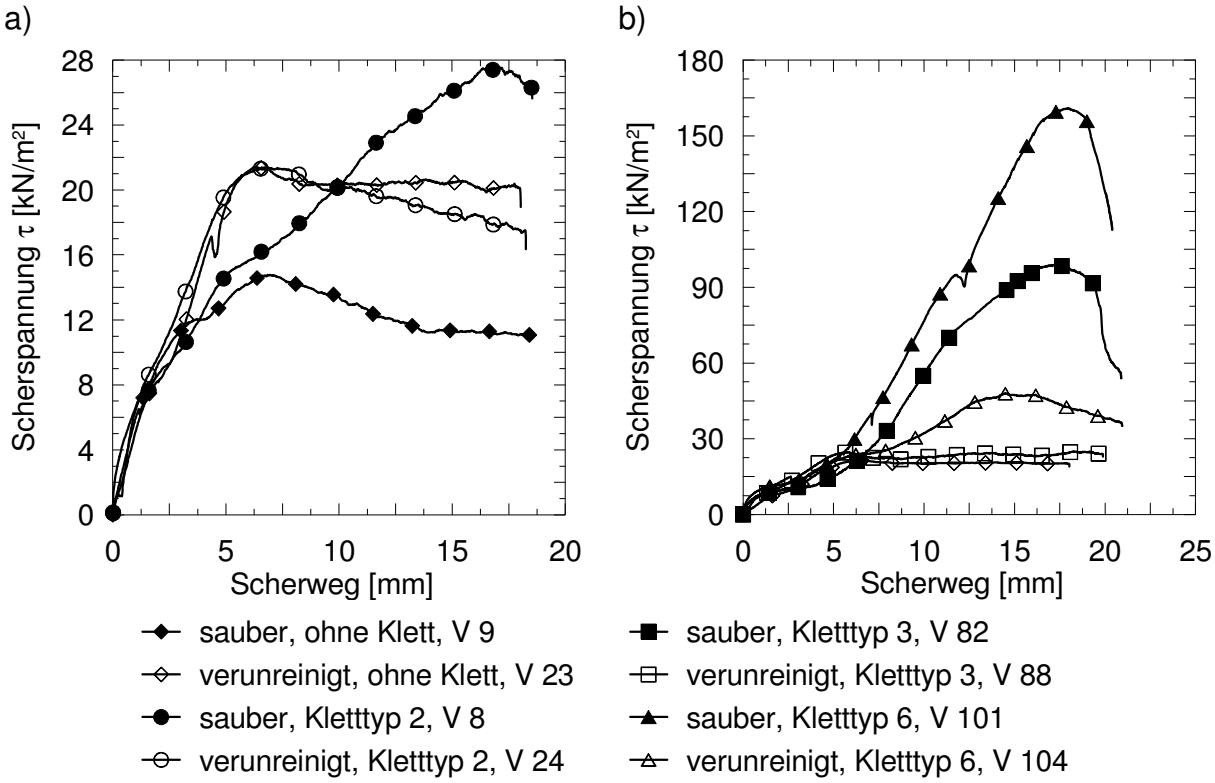


Bild 2.4.16: Scherspannungs-Scherweg-Diagramme für saubere und verunreinigte sowie nicht gesättigte Zustände; a) ohne Klettstreifen und Klettstreifentyp 2; b) Klettstreifentyp 3

Ein Vergleich der Versuche V 9 und V 23 (saubere bzw. verunreinigte Probe jeweils ohne Klettstreifen) zeigt, dass sich generell aufgrund der Verunreinigung eine höhere Scherspannung einstellt. Allerdings lässt sich auch bei den Versuchen V 24 und V 88 ein deutlicher Tragfähigkeitsverlust aufgrund der Verunreinigung erkennen. Während bei Klettstreifentyp 2 bei Verunreinigungen keine Wirksamkeit mehr festgestellt werden kann, kann bei Klettstreifentyp 3 noch eine geringe und bei Klettstrei-

fentyp 6 eine deutliche Wirksamkeit erkannt werden, die jedoch unter den Ergebnisse der nicht verunreinigten Proben liegt.

In Bild 2.4.17 sind die Ergebnisse für verunreinigte und zusätzlich gesättigte Proben dargestellt.

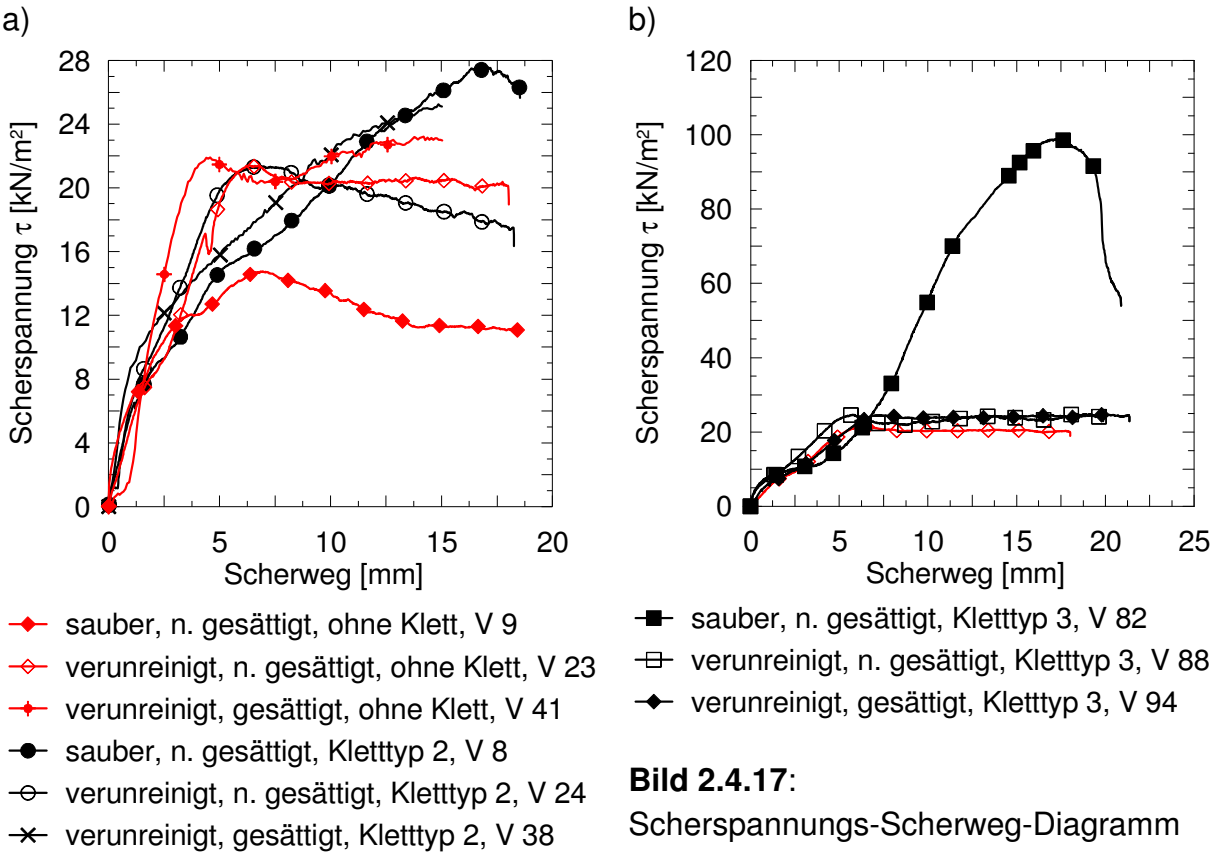

a)
b)
Scherspannung τ [kN/m²]
Scherweg [mm]
sauber, n. gesättigt, ohne Klett, V 9
verunreinigt, n. gesättigt, ohne Klett, V 23
verunreinigt, gesättigt, ohne Klett, V 41
sauber, n. gesättigt, Kletttyp 2, V 8
verunreinigt, n. gesättigt, Kletttyp 2, V 24
verunreinigt, gesättigt, Kletttyp 2, V 38
sauber, n. gesättigt, Kletttyp 3, V 82
verunreinigt, n. gesättigt, Kletttyp 3, V 88
verunreinigt, gesättigt, Kletttyp 3, V 94

Bild 2.4.17:
Scherspannungs-Scherweg-Diagramm für unterschiedliche Randbedingungen

Bei Klettstreifentyp 3 und ohne der Verwendung von Klettstreifen ist kein signifikanter Unterschied im Verhalten der maximal zu mobilisierenden Scherspannung erkennbar (vgl. V 23 mit 41 und V 88 mit V 94). Bei Klettstreifentyp 2 ist im gesättigten Zustand eine höhere Scherspannung mobilisierbar als im ungesättigten. Unabhängig des Ergebnisses von V 38 ist davon auszugehen, dass im verunreinigten Zustand der Sättigungsgrad nur einen geringfügigen Einfluss hat. Falls ein Einfluss vorhanden ist, scheint dieser wie bei V 38 die Ergebnisse auf der sicheren Seite liegend zu beeinflussen.

2.4.3.2.6 Ableitung von Adhäsionsparametern

Aufbauend aus den Kleinrahmenscherversuchen wird nachfolgend ein Adhäsionsfaktor abgeleitet, mit dem die Wirkung des Klettstreifens quantitativ erfasst werden kann. Beim Verbund von Vliesstoff mit dem Klettstreifen können mechanische Adhäsionskräfte wirken, indem eine Verhakung der Fasern des Vliesstoffes mit den Klettstreifen erfolgen kann.

Unter Adhäsion wird ein spannungsunabhängiges Zusammenhaften zweier Kontaktflächen verstanden. Nach der Grenzbedingung von Coulomb lässt sich die Scherfestigkeit τ zweier Flächen über den spannungsunabhängigen Adhäsionsparameter *a* und den spannungsabhängigen Anteil $\sigma \cdot tan\varphi$ mit dem Reibungswinkel φ beschrieben, siehe Gleichung (1) und Bild 2.4.18.

$$\tau = a + \sigma \cdot tan\varphi \qquad (1)$$

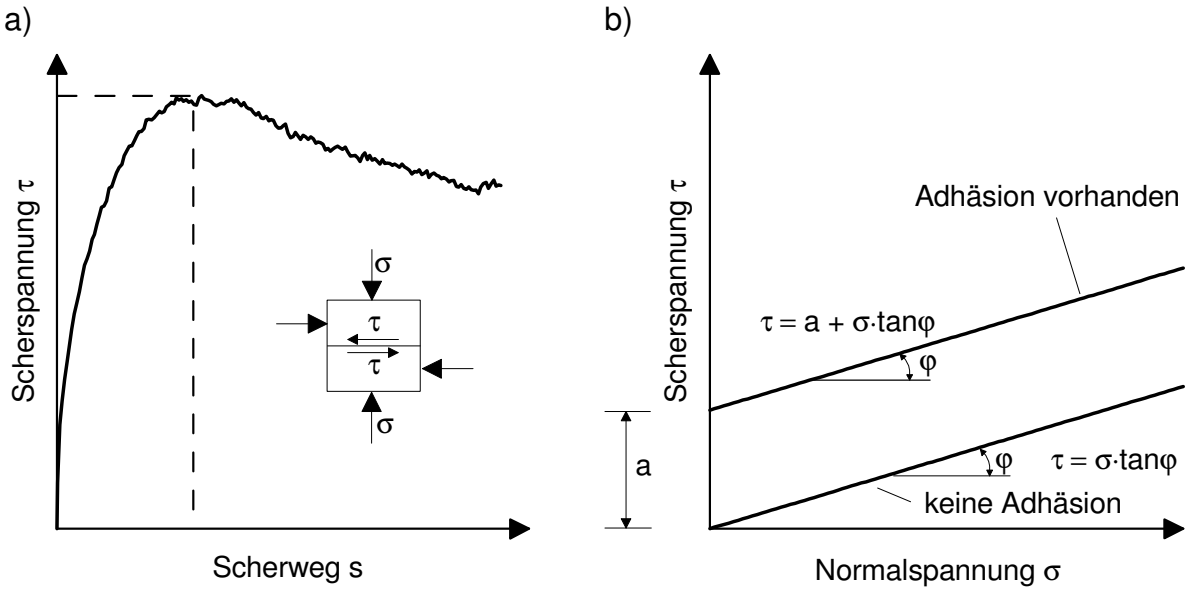


Bild 2.4.18: a) Scherspannungs-Scherweg-Diagramm; b) Ermittlung der Adhäsion a und des Reibungswinkels φ

Bei höheren Auflasten zeigen die Klettstreifen unter Berücksichtigung einer gewissen Streubreite ein generell vergleichbares Verhalten wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben.

In Bild 2.4.19 und Tabelle 2.5.1 sind die Ergebnisse zur Ermittlung der Adhäsionsfaktoren und Reibungswinkel für die vier in Abschnitt 2.4.3.2.5 untersuchten Zustände gegenübergestellt. Da zwischen dem Klettstreifentyp 1 und 2 kein signifikanter Unterschied feststellbar war (siehe Abschnitt 2.4.3.2.4), wurden diese beiden Typen zur Auswertung zusammengefasst, um so die Datenmenge zu erhöhen.

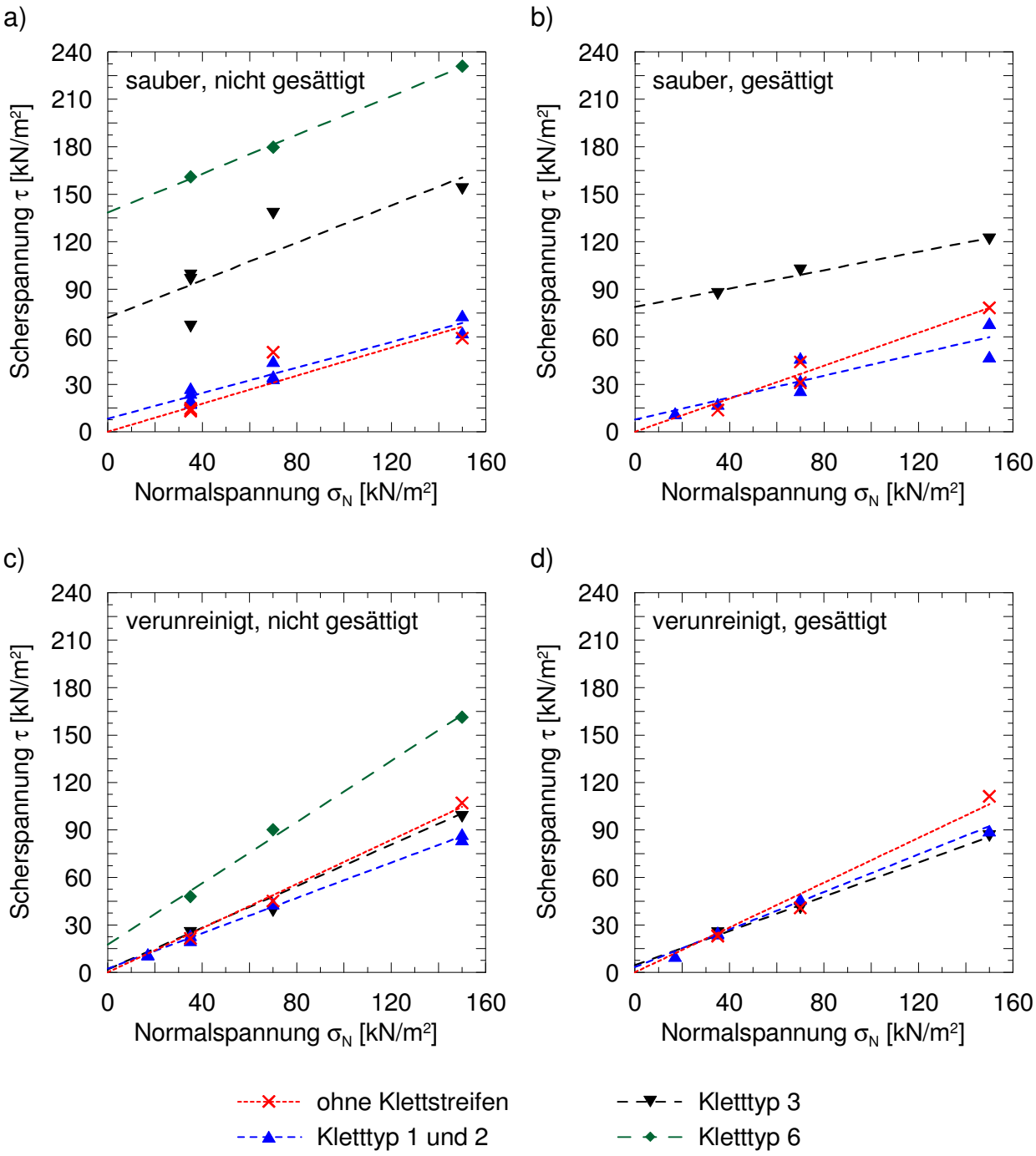


Bild 2.4.19: Ermittlung der Adhäsion a und des Reibungswinkels φ für folgende Zustände a) sauber, nicht gesättigt; b) sauber, gesättigt; c) verunreinigt, nicht gesättigt; d) verunreinigt, gesättigt

Für statische Berechnungen wird empfohlen, die Kennwerte entsprechend der hier untersuchten Zustände anzusetzen.

Tabelle 2.5.1: Aus den Rahmenscherversuchen ermittelte Adhäsion a und Reibungswinkel φ für die untersuchten Zustände

Zustand	ohne Klettstreifen	Kletttyp 1 und 2	Kletttyp 3	Kletttyp 6
sauber, nicht gesättigt	a = 0 kN/m^2 φ = 23,9°	a = 8,3 kN/m^2 φ = 21,8°	a = 72,2 kN/m^2 φ = 30,5°	a = 138 kN/m^2 φ = 31,6°
sauber, gesättigt	a = 0 kN/m^2 φ = 27,6°	a = 7,7 kN/m^2 φ = 19,3°	a = 79,0 kN/m^2 φ = 16,2°	nicht durchgeführt
verunreinigt, nicht gesättigt	a = 0 kN/m^2 φ = 34,9°	a = 2,4 kN/m^2 φ = 29,3°	a = 0 kN/m^2 φ = 32,6°	a = 17,5 kN/m^2 φ = 44°
verunreinigt gesättigt	a = 0 kN/m^2 φ = 35,1°	a = 3,3 kN/m^2 φ = 30,5°	a = 4,6 kN/m^2 φ = 28,4°	nicht durchgeführt

Für die in Bild 2.4.19 ermittelten Kennwerte, wurden die in Tabelle 2.5.2 aufgezeigten Versuche verwendet.

Tabelle 2.5.2: Dokumentation der verwendeten Versuche für die in Bild 2.4.19 ermittelten Kennwerte

	sauber, nicht gesättigt	sauber, gesättigt	verunreinigt, nicht gesättigt	verunreinigt, gesättigt
ohne Klett	V9, V20, V67, V68, V69, V107	V31, V33, V35, V108	V23, V109, V110	V37, V39, V41, V111
Kletttyp 1 und 2	V4, V6, V8, V13, V15, V17, V29, V30, V52, V70	V32, V34, V36, V45, V46, V47, V59, V60,	V24, V26, V43, V44, V55, V56, V57, V58	V38, V40, V42, V48, V49, V61, V62, V63
Kletttyp 3	V78, V82, V83, V84, V85	V91, V92, V93	V88, V89, V90	V94, V95, V96
Kletttyp 6	V101, V102, V103	nicht durchgeführt	V104, V105, V106	nicht durchgeführt

2.4.3.2.7 Wiederholungsversuche

In Bild 2.4.20 sind die Ergebnisse mehrerer Wiederholungsversuche dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass diese Versuche eine gute Übereinstimmung zeigen. Dennoch haben die Erfahrungen bei den Versuchen auch gezeigt, dass eine hohe

Streubreite vorhanden ist, welches bei den Versuchen V 6, V 52 und V 70 deutlich wird.

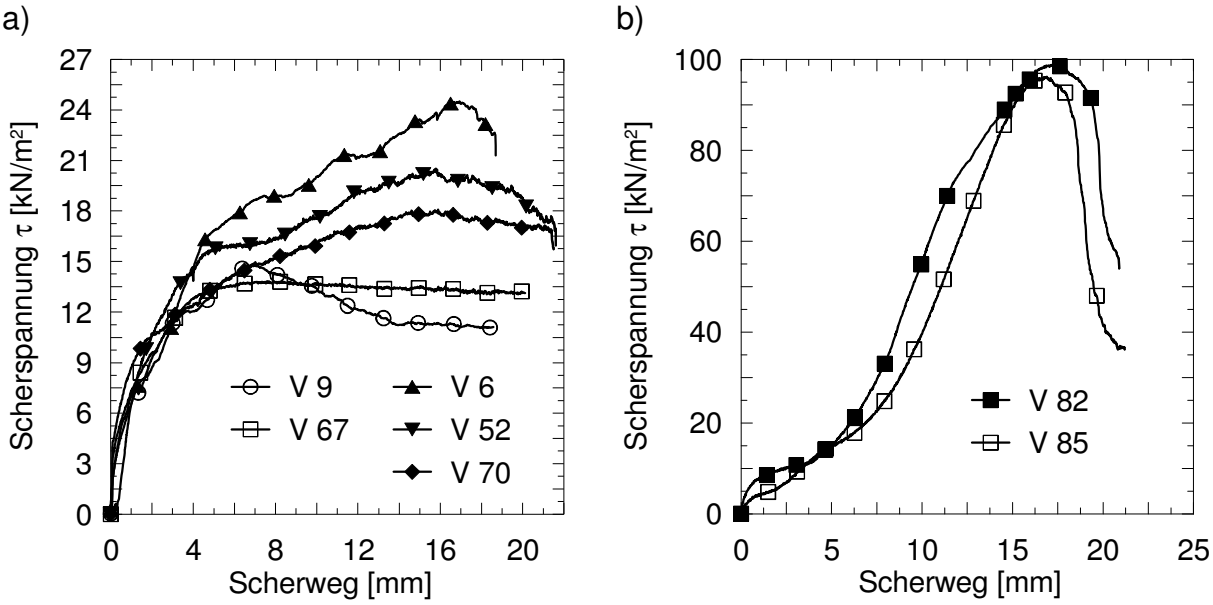


Bild 2.4.20: Darstellung ausgewählter Wiederholungsversuche

2.4.3.2.8 Großrahmenscherversuche zur Bestimmung des Klettstreifenabstands

Ergänzend zu den Kleinrahmenscherversuchen wurden mehrere Versuche im Großrahmenscherversuch durchgeführt, um eine Aussage zum optimalen Abstand der Klettstreifen zueinander treffen zu können.

Die Ergebnisse aus den Abschnitten 2.4.3.3 und 2.5 vorwegnehmend, verhält sich ein Container mit Klettstreifen steifer als ohne. Von daher könnte die Möglichkeit bestehen unter Verwendung eines zu engen Abstandes, dass die Verformbarkeit des Containers eingeschränkt werden könnte. Ebenso besteht bei einem zu geringen Abstand die Gefahr, dass beim Einbau die Klettstreifen aufeinander liegen und somit keine Scherspannung mobilisieren können, da die Klettstreifen aufeinander liegend nicht aneinander haften. Andererseits bedeutet eine hohe Anzahl an Klettstreifen auch eine höhere Scherspannung.

Analog zu den Kleinrahmenscherversuchen wurden fünf Versuche in einem Großrahmenschergerät durchgeführt, bei denen der Abstand der Klettstreifen variiert worden ist, siehe Bild 2.4.21. Die Vorschubgeschwindigkeit betrug $v = 2$ mm/Min. Untersuchungen von *Stoewahse (2001)* zeigen, dass die Größe der Vorschubgeschwindigkeit bei derartigen Untersuchungen keinen Einfluss hat.

Die Normalspannung wurde zu $\sigma_N = 15$ kN/m^2 festgelegt. Die Probengröße betrug 55 cm x 75 cm. Wie in den Kleinrahmenscherversuchen auch, wurden die Vliesstoffe auf eine Holzspanplatte geklebt.

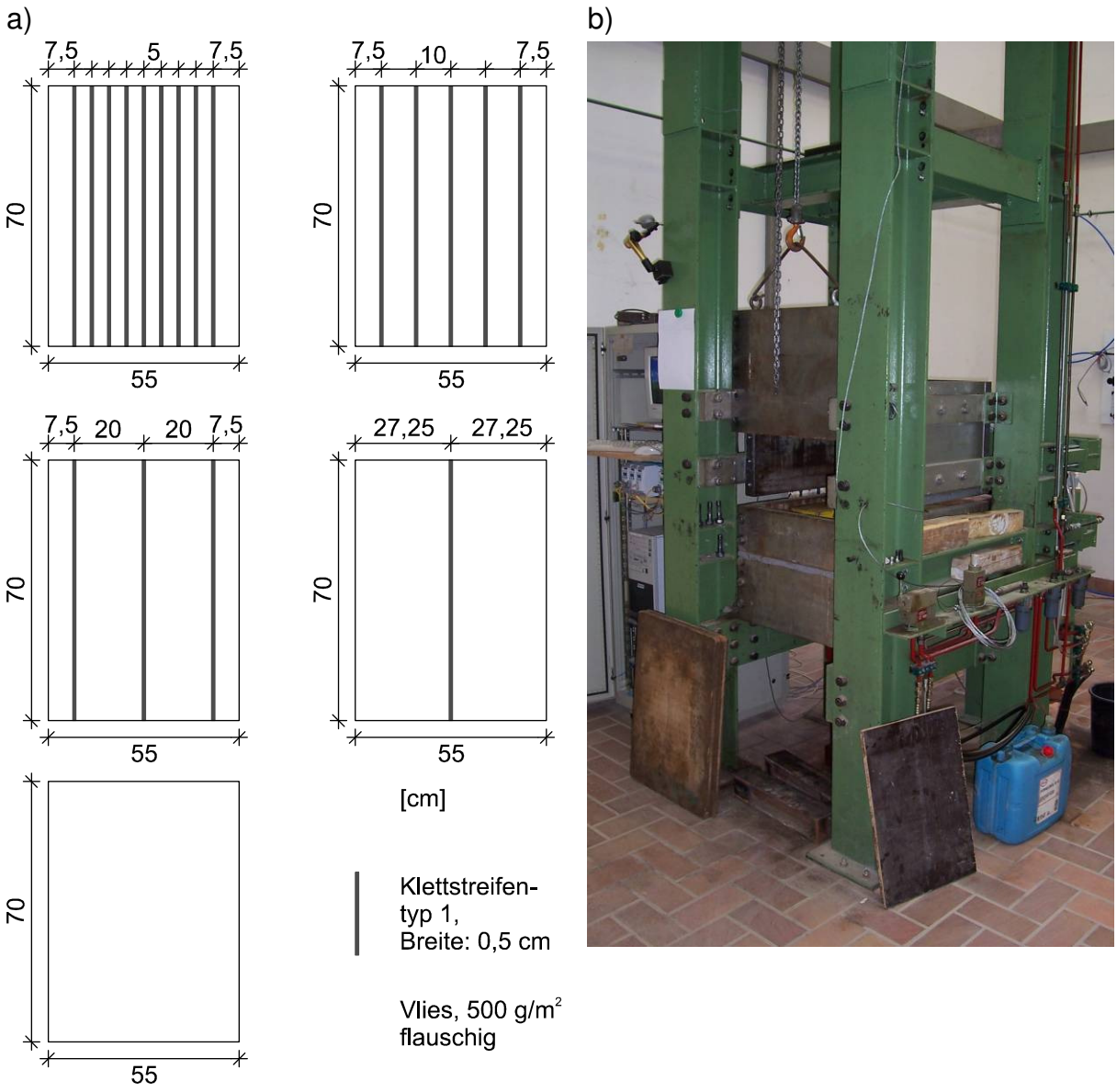


Bild 2.4.21: a) Anordnung der Klettstreifen; b) Großrahmenschergerät des Fachgebiets Geotechnik der Universität Kassel

In Bild 2.4.22 sind die Versuchsergebnisse aus den Großrahmenscherversuchen dargestellt.

Die Ergebnisse in Bild 2.4.22 zeigen erstens erneut die Wirksamkeit des Klettstreifens und zweitens, wie erwartet, eine höhere Scherspannung bei zunehmender Anzahl der Klettstreifen.

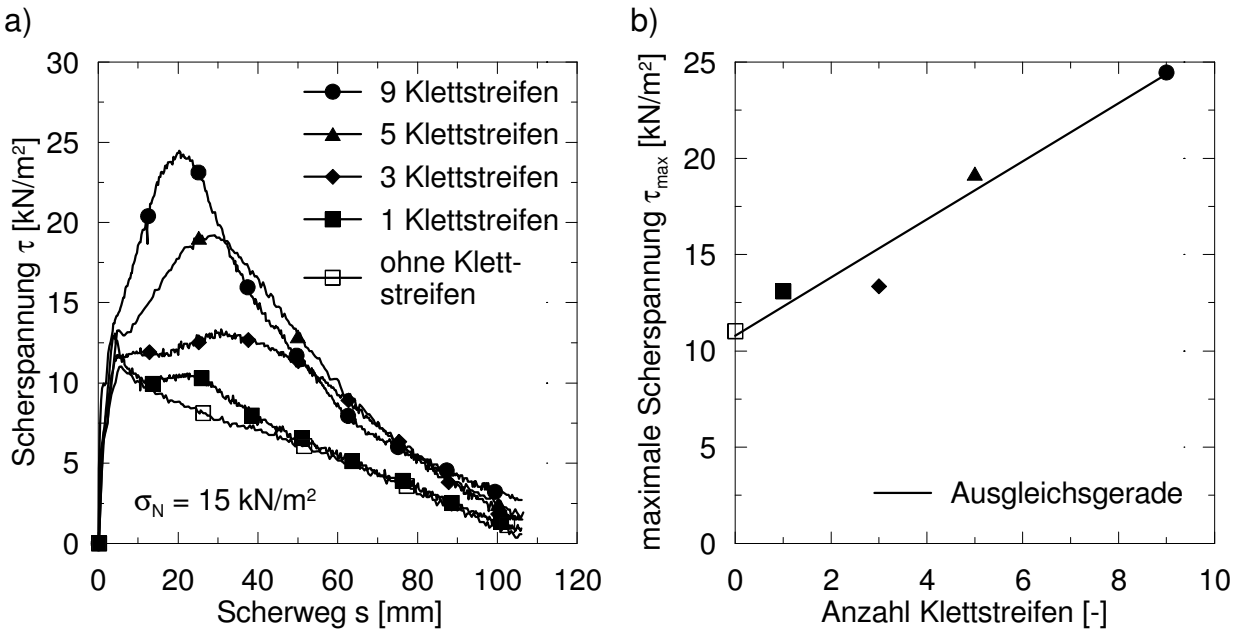


Bild 2.4.22: a) Scherspannungs-Scherweg-Diagramm;
b) Maximale Scherspannung in Abhängigkeit der Klettstreifenanzahl

Der Abstand der Klettstreifen von s_k = 5 cm wird als sehr dicht und somit das Risiko einer Überlagerung beim Einbau als sehr hoch bewertet. Von daher wird für das weitere Vorgehen ein Klettstreifenabstand von s_k = 15 cm für die Container des Modell- und Feldversuches festgelegt.

2.4.3.2.9 Zusammenfassung

Insgesamt wurden 116 Klein- und Großrahmenscherversuche durchgeführt, bei denen der Einfluss unterschiedlichster Randbedingungen untersucht worden ist. Im Folgenden werden die wesentlichsten Erkenntnisse zusammengefasst.

Es wird empfohlen, ein Vliesstoff mit einem Flächengewicht von mindestens 500 g/m^2 zu verwenden, welches mechanisch vernadelt worden ist. Gewebe können aufgrund ihrer geringeren Bruchdehnung für kleinvoluminöse Container verwendet werden.

Generell kann festgestellt werden, dass durch die Verwendung von Klettstreifen eine höhere Scherspannungsübertragung möglich ist. Die Quantifizierung dieser Zunahme hängt jedoch wesentlich vom verwendeten Klettstreifentypen ab, sodass eine allgemeingültige Aussage nicht möglich ist. Von daher wird empfohlen, einige Rahmenscherversuche vorab mit dem zu verwendenden Klettstreifen durchzuführen, um die Steigerung der Scherspannung abschätzen zu können.

Durch einen vorzeitigen Kontakt der Klettstreifen mit anderen Containern tritt ein deutlicher Tragfähigkeitsverlust ein, da die Klettstreifen beim Trennen der Container

einzelne Fasern ausreißen. Diese setzen sich dann in die Klettstreifen und vermindern die Effektivität.

Feuchtigkeit vermindert die Tragfähigkeit der Klettstreifen geringfügig. Verunreinigungen führen dagegen zu einem deutlichen Verlust der Tragfähigkeit. Der tragfähigkeitssteigernde Effekt der Klettstreifen kann dadurch wirkungslos werden. Der Sättigungsgrad hat bei vorhandener Verunreinigung nur einen geringen Einfluss.

Die Orientierung des Klettstreifens auf den Containern scheint keinen Einfluss auf die maximal übertragbare Scherspannung zu haben.

Es wird ein Abstand der Klettstreifen zueinander von ca. 15 cm empfohlen.

2.4.3.3 Nachbildung einer Stützkonstruktion

2.4.3.3.1 Zielsetzung

In Abschnitt 2.4.3.2 konnte aufgrund der Verwendung von Klettstreifen eine Steigerung der Tragfähigkeit in der Verbundfuge experimentell ermittelt werden. Ziel der in diesem Abschnitt beschriebenen Versuchsreihe ist die Untersuchung des Systemverhaltens einer Stützkonstruktion, die aus Containern mit und ohne Klettstreifen besteht. Es soll festgestellt werden, inwiefern eine in den Elementversuchen festgestellte Verbundsteigerung auf einen Systemversuch übertragen werden kann. Insgesamt wurden zwei Versuche durchgeführt. Bei Versuch 1 wurden Container ohne Klettstreifen und bei Versuch 2 Container mit Klettstreifen verwendet.

2.4.3.3.2 Versuchsaufbau der Stützkonstruktion

Die Stützkonstruktion im Maßstab von ca. 1:3 wurde in einem Versuchsstand mit den Innenabmessungen von 3,05 m x 1,10 m errichtet. Bereits im Vorfeld des Einbaus wurden die Wände des Versuchsstandes eingefettet und mit einer dünnen Folie ummantelt, um Reibungseinflüsse zwischen den Wänden der Versuchskonstruktion und den Containern oder dem Modellsand zu minimieren.

Die ungefüllten Container waren dreiseitig vernäht und wiesen eine Abmessung von ca. 0,55 m x 0,4 m auf (Länge x Breite). Jeder Container wurde mit rd. 26 kg Sand befüllt, um einen Füllgrad von ca. 80 % zu erreichen. Die Abmessungen der gefüllten Container waren ca. 0,55 m x 0,4 m x 0,1 m (Länge x Breite x Höhe). Nach dem Füllen wurden die Container mit einer Industrienähmaschine (Typ 2200 AS) in Form einer Doppelstichnaht verschlossen. Die Container bei Versuch 2 waren mit dem Klettstreifentyp 1 ausgerüstet und der Abstand der Klettstreifen zueinander betrug 15 cm. Der höhere Verbundspannungen erzielende Klettstreifentyp 3 und der dop-

pelseitige Klettstreifentyp 6 standen zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung noch nicht zur Verfügung. Die Neigung der Konstruktion gegenüber der Horizontalen betrug 80°.

Unterhalb der Konstruktion wurde eine 20 cm mächtige Sandschicht angeordnet, wodurch eine wirklichkeitsnahe Bettung der Container erzielt worden ist. Die Errichtung der Stützkonstruktion erfolgte lagenweise. Dabei wurde je eine Containerschicht per Hand gelegt und mit Sand verfüllt. Generell verhielten sich die Container mit Klettstreifen beim Einbau formstabiler als Container ohne Klettstreifen. Insgesamt wurden 10 Containerlagen angeordnet. Zur Hinterfüllung wurde die Rieseltechnik verwendet, bei der bei einer Fallhöhe von 60 cm eine dichte Lagerung von im Mittel $D = 0{,}8$ erzielt werden konnte. Informationen zur Rieseltechnik sind *Vaid/Negussey (1984)* oder *Cudmani (2001)* zu entnehmen. Die Bodenkenngrößen des verwendeten Modellsandes sind in *Heitz (2006)* und *Witzel (2004)* angegeben.

Die Belastung des Systems erfolgte durch eine hydraulische Presse mit einer quadratischen Lastplatte ($A = 1{,}12$ m^2). Eine Prinzipdarstellung und Ansicht der Versuchskonstruktion ist in Bild 2.4.23 gegeben, dazugehörige Schnitte und eine Containernummerierung in Bild 2.4.24.

Während des Einbaus und Durchführung der Versuche konnten keine Beschädigungen an den Containern insgesamt oder an den Nähten sowie Sandverluste festgestellt werden. Allerdings wurden lokal einzelne Einschnürungen des Containers durch den Klettstreifen beobachtet.

Die Belastung durch die Presseneinrichtung erfolgte kraftgesteuert. Die angedachten Belastungsschritte sind in Bild 2.4.25 beispielhaft dargestellt. Nach jeder Laststeigerung wurde ca. 20 Minuten gewartet bis die neue Last aufgebracht worden ist, sodass das System auf die Belastung reagieren konnte.

Die Verschiebungen jedes einzelnen Containers wurden mittels tachymetrischer Verformungsmessung erfasst. Direkt vor jeder Laststeigerung wurde eine Messung an jedem Container durchgeführt. Über die Höhe der aufzubringenden Laststeigerungen wurde in Abhängigkeit zur eingetretenen Verformung der Stützkonstruktion während der Versuchsdurchführung entschieden, wobei anfänglich niedrigere Laststufensteigerungen in Schritten von 10 kN angedacht waren.

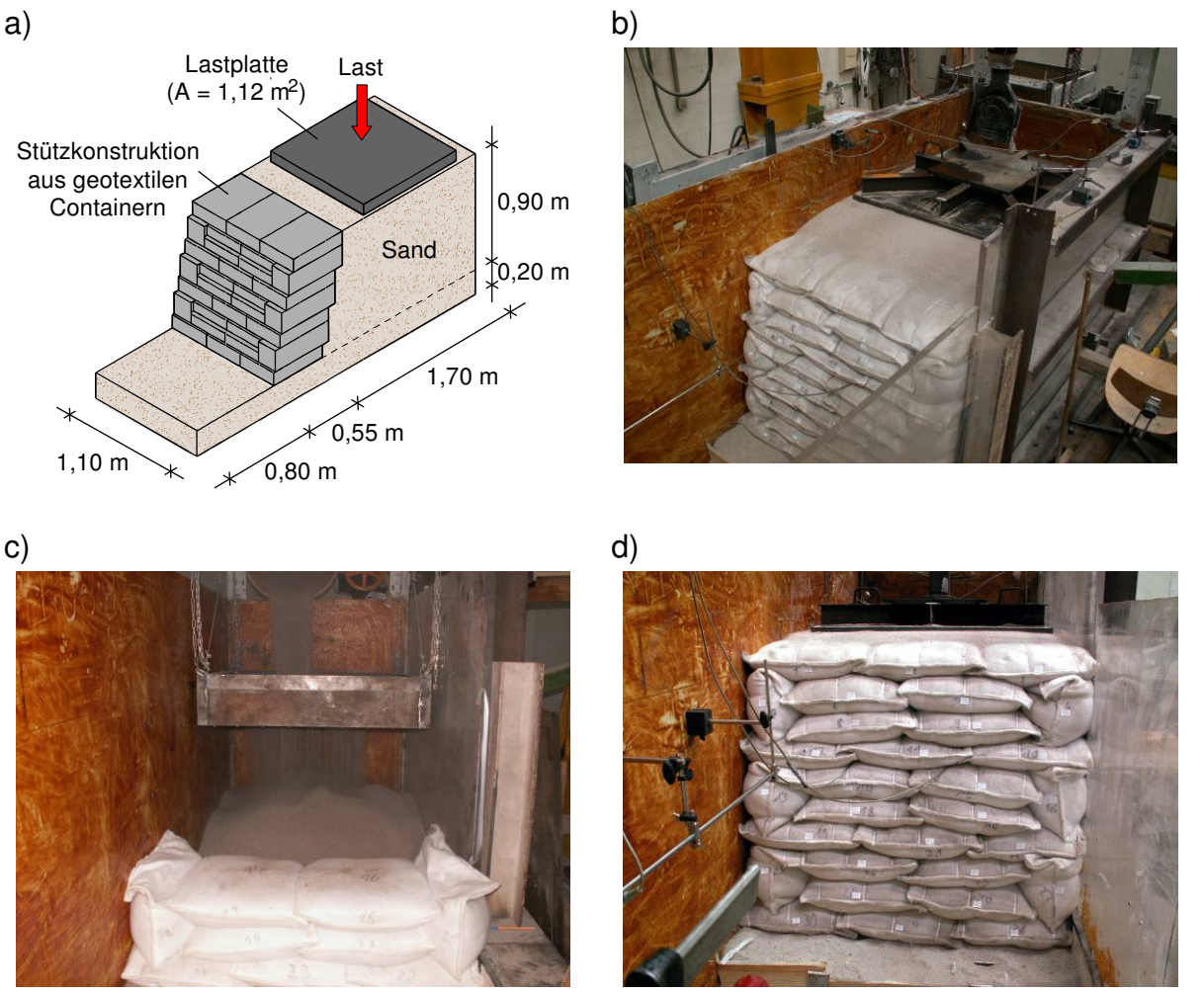


Bild 2.4.23: a) Prinzipdarstellung des Modellversuches; b) Ansicht des Modellver suches mit fertiggestellter Stützkonstruktion; c) Rieselvorgang wäh rend des Hinterfüllvorgangs; d) Frontansicht der Stützkonstruktion

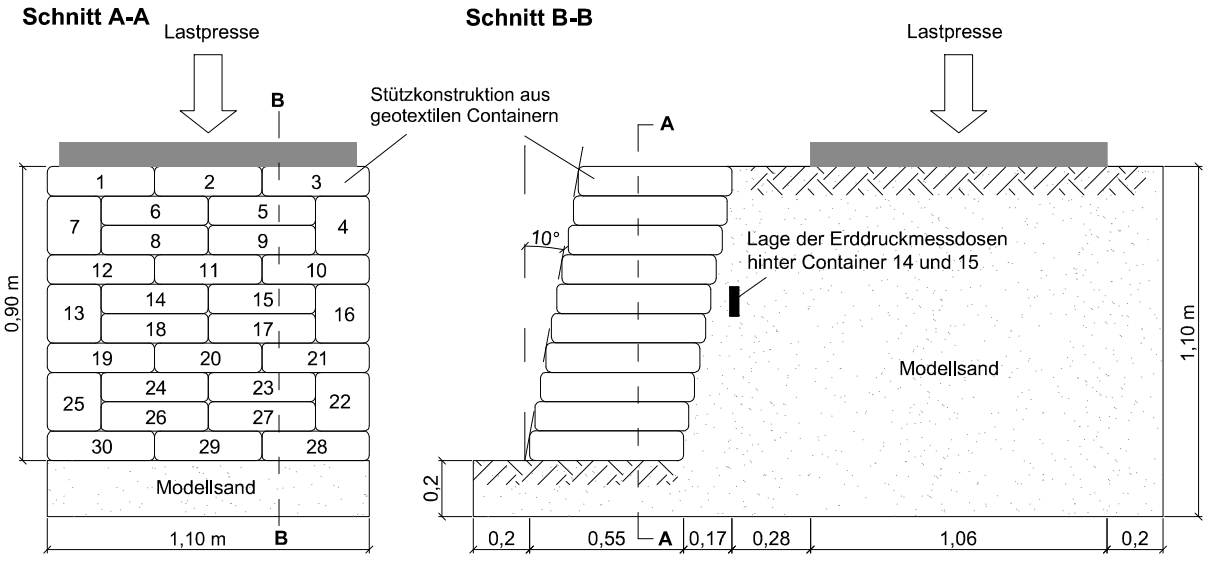


Bild 2.4.24: Schnitte A-A und B-B des Modellversuches

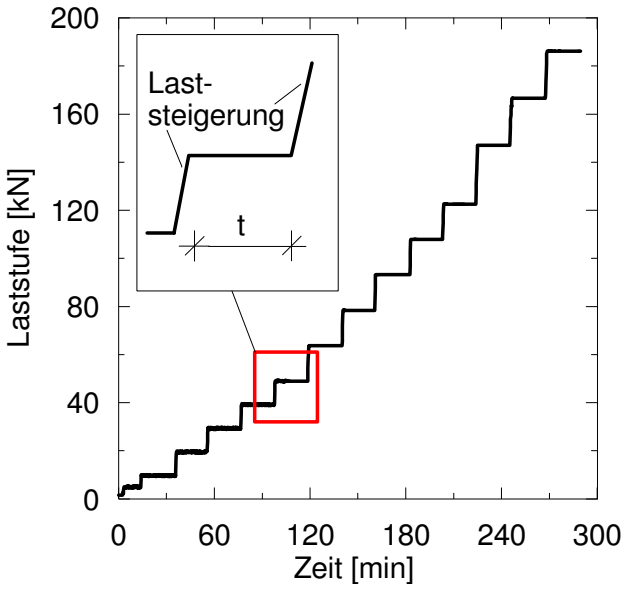


Bild 2.4.25:
Angedachte Belastungsstufen bei der Durchführung der Modellversuche

2.4.3.3.3 Messungen während der Versuchsdurchführung

Während der Durchführung der Modellversuche wurden die folgenden Kenngrößen messtechnisch erfasst:

- tachymetrische Verformungsmessung jedes einzelnen Containers vor jeder Laststeigerung
- horizontaler Erddruck hinter den Containern Nr. 14 und 15 (siehe Bild 2.4.24)
- Kraft und Weg an der Lastplatte
- Wegaufnehmer an jeder Ecke der Lastplatte um Verkantungen zu erfassen.

Zur Erfassung der Containerverschiebungen wurde an der Außenseite jedes Containers mittig ein Messpunkt platziert, der mit dem Tachymeter angemessen wurde. Als Tachymeter wurde eine Leica TCR 702 verwendet. Die Messung basiert auf der Aufnahme von Horizontal- und Vertikalwinkel sowie der Schrägdistanz durch reflektorlose Messung, wodurch gebündelte Laserstrahlen das zu messende Objekt fokussieren und durch einen am Messinstrument befindlichen Sensor aufzeichnen. Zur Kontrolle der Verschiebungsmessungen wurde an Container Nr. 12 zusätzlich ein horizontaler Wegaufnehmer befestigt. Die Kontrollergebnisse sind in Bild 2.4.26 dargestellt. Es wurde eine sehr gute Übereinstimmung erzielt.

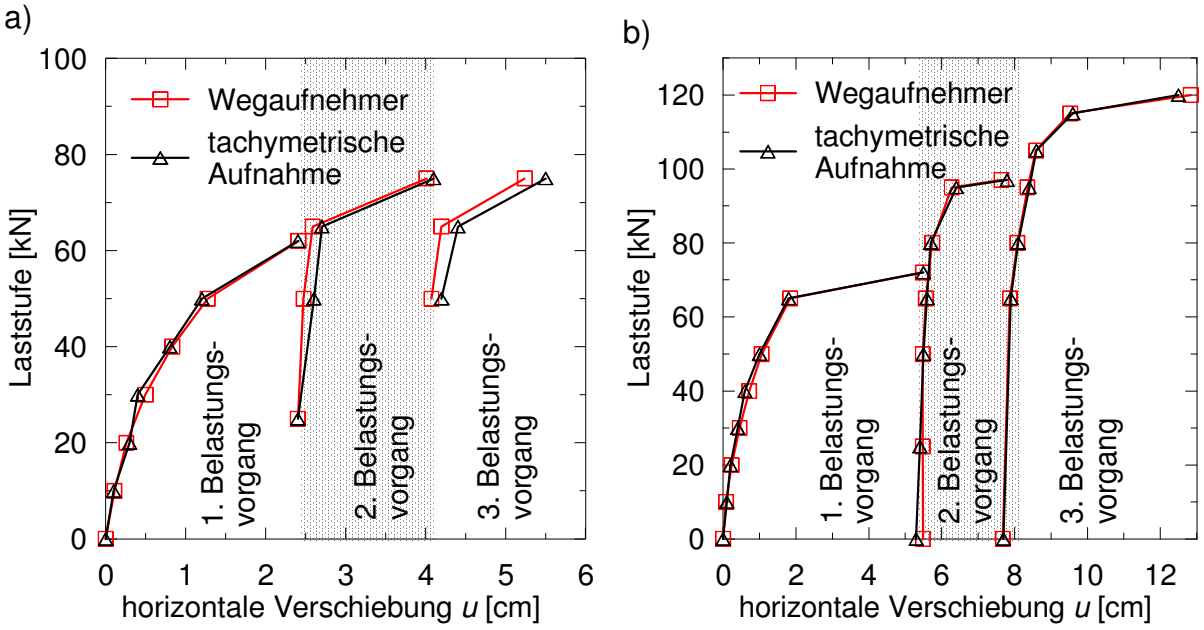


Bild 2.4.26: Kontrolle der Verschiebungsmessung; a) Modellversuch 1; b) Modellversuch 2

2.4.3.3.4 Darstellung der Versuchsergebnisse und Auswertung

Während der Versuchsdurchführung trat bei beiden Versuchen bei einer Auflast von ca. 65 kN aufgrund der Verschiebungen der Stützkonstruktion eine Verkantung der Lastplatte auf. Dadurch konnte weder eine zentrische Lasteinleitung gewährleistet, noch eine mögliche Beschädigung der Presseneinrichtung ausgeschlossen werden. Daher wurden die Versuche unterbrochen um die Lastplatte neu zu positionieren. Anschließend wurde die Belastung wieder langsam auf die alte Laststufe hochgefahren und der Versuch fortgeführt. Bei beiden Versuchen waren jeweils zwei Neupositionierungen der Lastplatte erforderlich. In Bild 2.4.27 sind die Setzungen der Lastplatte in Abhängigkeit der Laststufe bei der Erstbelastung aufgetragen.

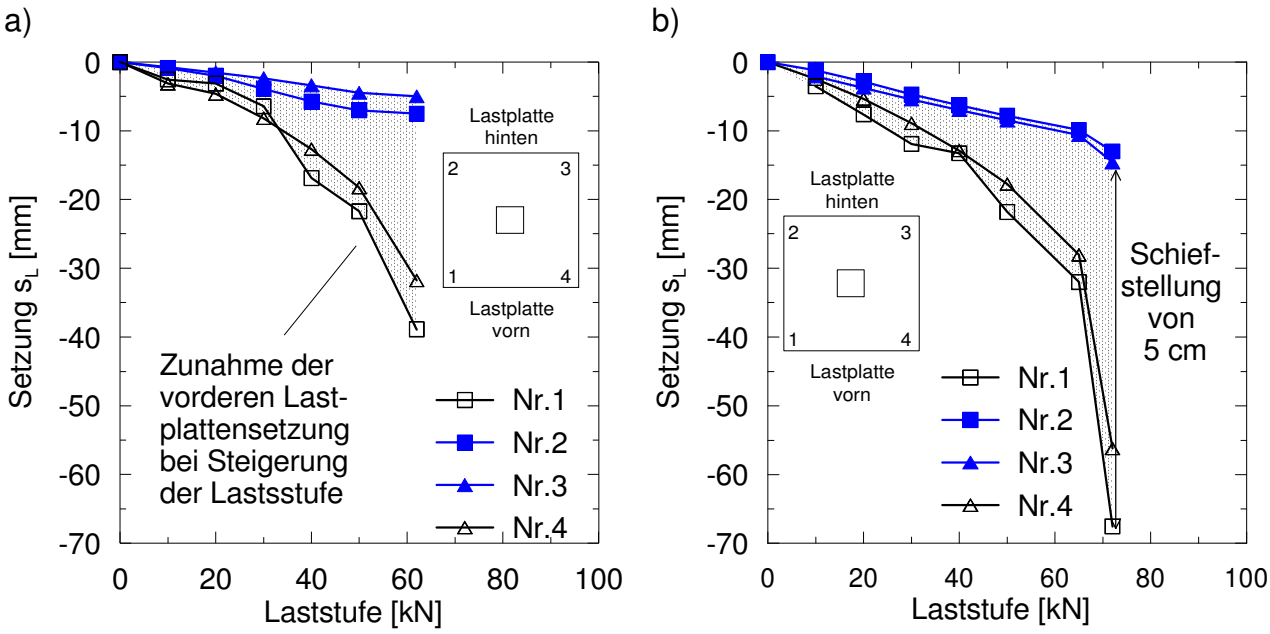


Bild 2.4.27: Setzung der Lastplatte bei Erstbelastung; a) Modellversuch 1; b) Modellversuch 2

In Bild 2.4.28 sind die Laststufen bei beiden Versuchen zusätzlich mit den aufgezeichneten horizontalen Erddruckspannungen dargestellt. Auffallend sind die in Bild 2.4.28a voneinander abweichenden Messungen des horizontalen Erddrucks. Da die Messwerte beider Erddruckdosen anfangs deckungsgleich verliefen, wird vermutet, dass sich eine Erddruckdose während des Versuches die Lage geändert hat und nicht mehr horizontal ausgerichtet war.

Für die Darstellung der gemessenen Verschiebungen einzelner Container, sowie der Verformung der Gesamtkonstruktion wurden drei Querschnitte, wie in Bild 2.4.29 dargestellt, festgelegt. Im Folgenden werden die Verformungen beider Modellversuche am Schnitt 2 diskutiert. Im Anhang A.2 sind die Messwerte des Schnittes 1 und 3 zur Vervollständigung dargestellt. Generell ist zwischen den Schnitten kein signifikanter Unterschied feststellbar gewesen.

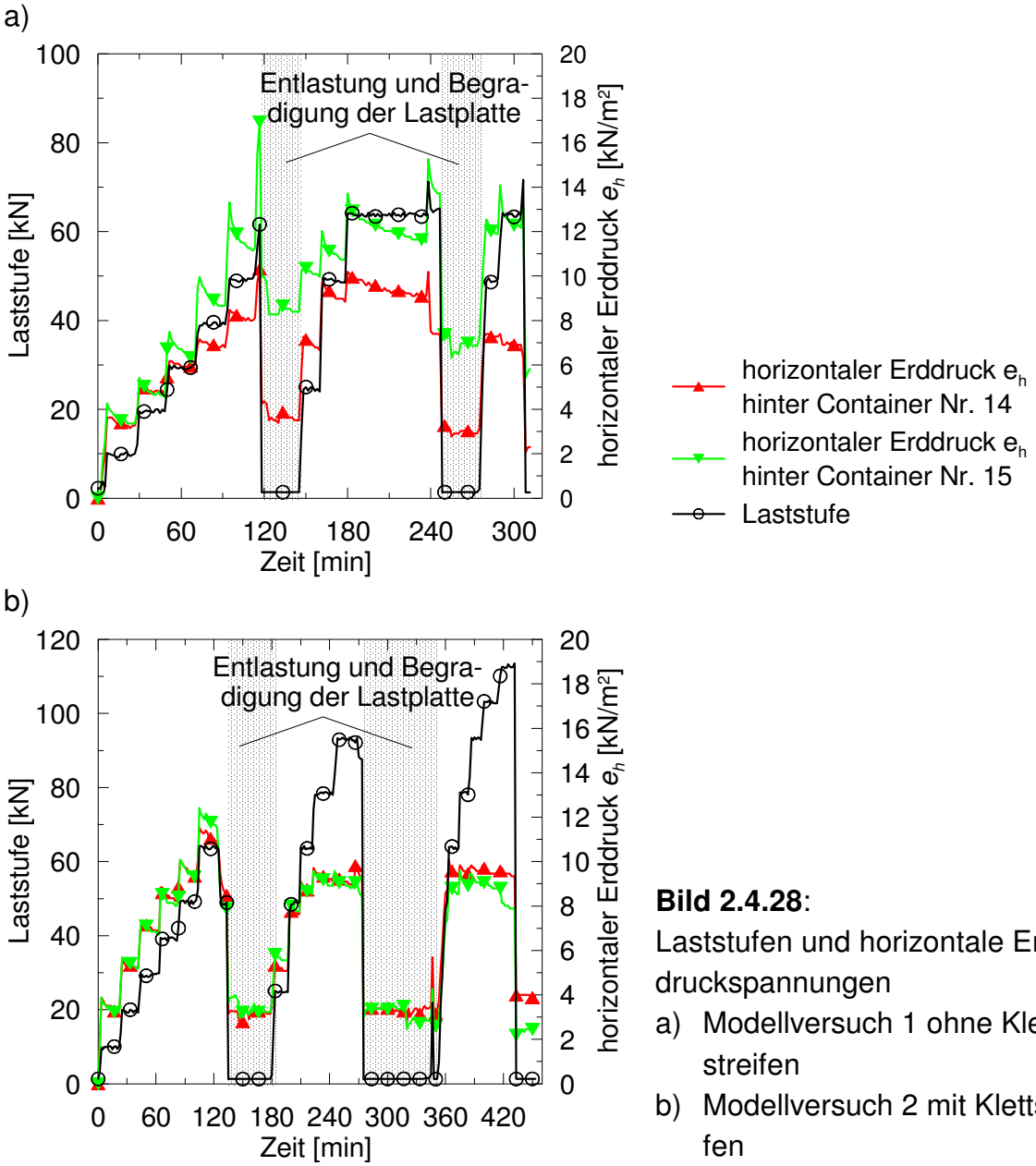


Bild 2.4.28:
Laststufen und horizontale Erddruckspannungen
a) Modellversuch 1 ohne Klettstreifen
b) Modellversuch 2 mit Klettstreifen

In Bild 2.4.30 und Bild 2.4.31 sind die Verschiebungen jeder Containerlage beider Modellversuche zu unterschiedlichen Laststufen für den Modellversuch 1 und 2 dargestellt.

a)

Containerlage	Schnitt 1	Schnitt 2	Schnitt 3
10	1	2	3
9	7	6	4
8		8	
7	12	11	10
6	13	14	16
5		18	
4	19	20	21
3	25	24	22
2		26	
1	30	29	28

b)

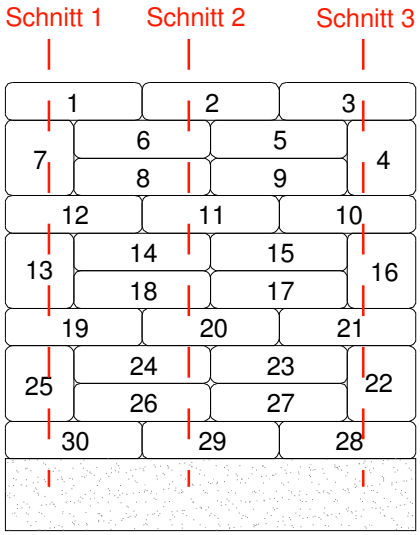
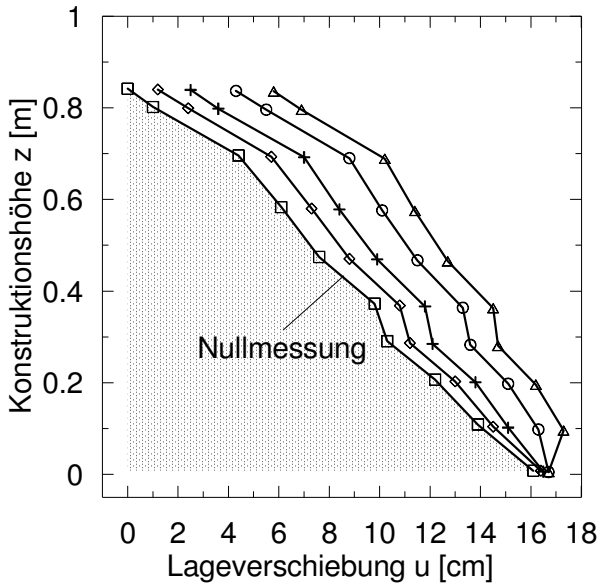
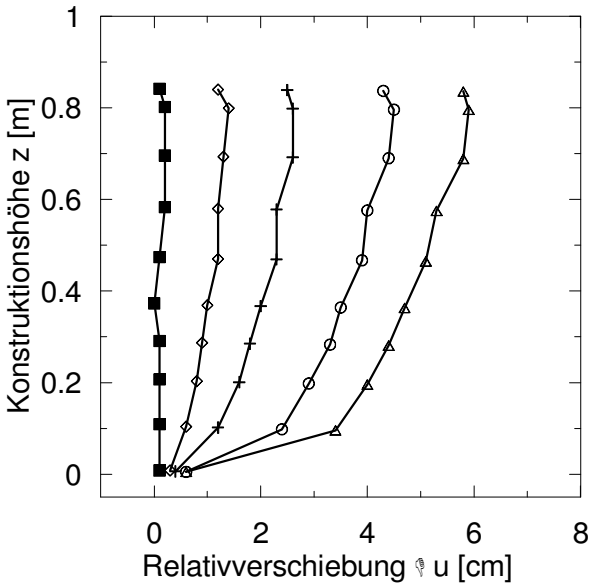


Bild 2.4.29: a) Einteilung der Containerlagen zur Auswertung der gemessenen Verformungen; b) Schnittführung

a)



b)



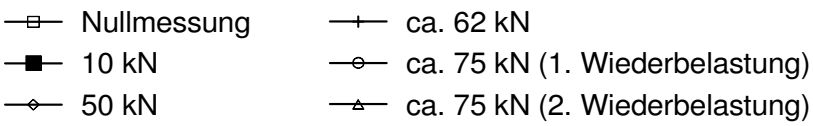


Bild 2.4.30: Lagenweise Verschiebung der Stützkonstruktion bei Modellversuch 1; a) Lageverschiebung u über die Konstruktionshöhe z; b) Relativver schiebung Δu über die Konstruktionshöhe *z*

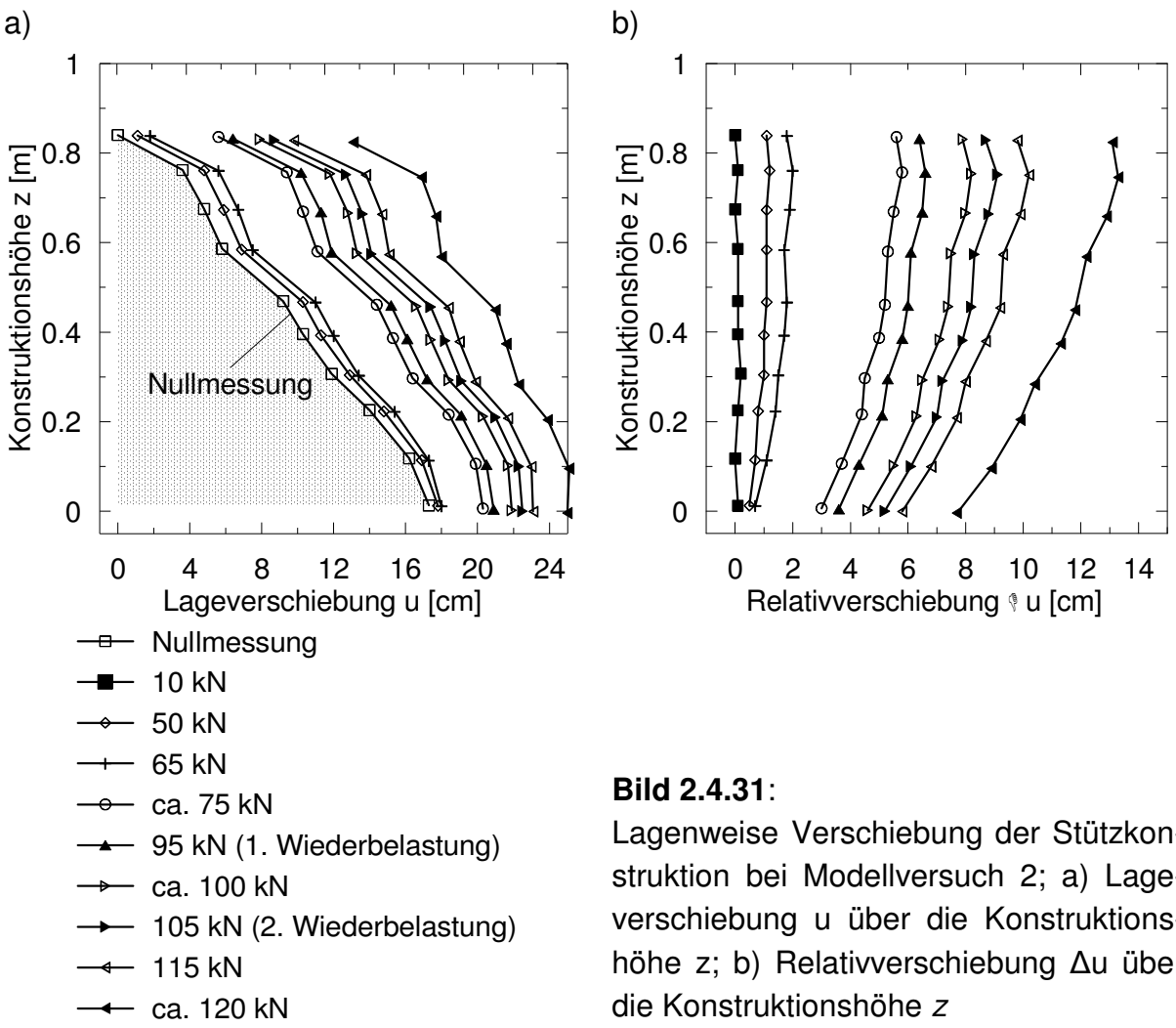


Bild 2.4.31:
Lagenweise Verschiebung der Stützkonstruktion bei Modellversuch 2; a) Lageverschiebung u über die Konstruktionshöhe z; b) Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe *z*

Bei Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen) hat sich bei einer Auflast von ca. 62 kN eine derartige Schiefstellung eingestellt, sodass der Versuch zur Begradigung der Lastplatte unterbrochen werden musste. In Bild 2.4.30 ist bei dieser Laststufe bereits ein deutliches Abscheren der Container zwischen Lage 1 und 2 ersichtlich. Bei der anschließenden Wiederbelastung konnten ca. 75 kN erreicht werden, ehe der Versuch erneut unterbrochen und die Lastplatte neu ausgerichtet werden musste. Bei der darauf folgenden 2. Wiederbelastung konnten ebenfalls nur ca. 75 kN erreicht werden, bei der ein deutliches Scherversagen zwischen den Containern der 1. und 2. Lage aufgetreten ist. Da bei der 2. Wiederbelastung keine höhere Belastung erreicht worden ist, wird die Grenzlast zu ca. 75 kN angenommen.

Die Belastungsstufen bei Modellversuch 2 (mit Klettstreifen) orientierten sich am Modellversuch 1. Bis zu einer Laststufe von ca. 60 kN konnten keine relevanten Verschiebungen beobachtet werden. In der weiteren Belastung bis ca. 75 kN trat allerdings eine deutliche horizontale Verschiebung der gesamten Stützkonstruktion ein, aus der eine Schiefstellung der Lastplatte resultierte. Eine Wiederbelastung des Systems bis zur vorangegangenen Laststufe zeigte keinerlei Auswirkung, bis bei einer Belastung von ca. 100 kN erneut eine deutliche Konstruktionsverschiebung wahrge-

nommen wurde und folglich daraus erneut große Lastplattensetzungen und Verkantungen eingetreten sind. Im dritten Belastungsvorgang mit begradigter Lastplatte konnte eine maximale Kraft von ca. 120 kN aufgebracht werden, wobei erneute hohe Verschiebungen aufgetreten sind und die Lastplatte sich verkantet hat.

Generell lassen sich bei beiden Versuchen unterschiedliche Versagensmechanismen erkennen. Bei Modellversuch 1 fanden die Verschiebungen nur auf den untersten Containerlagen statt. Höher gelegene Container folgen den Verschiebungen der tiefer liegenden und weisen untereinander eine kaum nennenswerte Verschiebung auf. Die Verschiebungen treten größtenteils nur auf den untersten Containerlagen auf. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass der geringe Verbund der Container ein Bauteilversagen in der Stützkonstruktion verursacht hat. Auch bei der Wiederbelastung war keine Tragfähigkeitserhöhung feststellbar. Die Konstruktion scherte zwischen der ersten und zweiten Containerlage ab. Ein Kippen der Stützkonstruktion konnte nicht festgestellt werden. Bild 2.4.32 verdeutlicht diesen Zusammenhang, indem die Verschiebungen der einzelnen Containerlagen untereinander dargestellt sind.

Bei Modellversuch 2 sind nur geringe Relativverschiebungen zwischen den einzelnen Containerlagen aufgetreten. Bei der Versuchsdurchführung wurde die gesamte Konstruktion mehrmals horizontal verschoben. Die Container reagierten zusammen annähernd wie ein monolithischer Block. Der Reibungsverbund zwischen der Sandschicht und der ersten Containerlage war geringer als der Verbund zwischen den anderen Containerlagen, wodurch die Scherfuge unterhalb der Stützkonstruktion verlief und die horizontalen Verschiebungen ermöglicht wurden.

Zusätzlich war ein leichtes Kippen der Konstruktion erkennbar. Ein Abscheren einzelner Containerlagen konnte dagegen nicht festgestellt werden. Eher deuten die kleinen Relativverschiebungen zwischen Lage 1 und 2 darauf hin, dass der Klettstreifen eine Anfangsverschiebung benötigt, um aktiv verbundsteigernd zu wirken, siehe Bild 2.4.32. Dieses Verhalten deutete sich auch in den Rahmenscherversuchen in Abschnitt 2.4.3.2 an.

Das versagende Element in diesem Versuch war somit nicht die Stützkonstruktion, wie bei Modellversuch 1, sondern der Boden, der eine Scherfuge unterhalb der Konstruktion ausbildete.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die in Abschnitt 2.4.3.2 festgestellte Tragfähigkeitserhöhung aufgrund der Verwendung von Klettstreifen ebenfalls bestätigt werden konnte. Die Ergebnisse zeigen, dass unter Verwendung von Klettstreifen die Stützkonstruktion aus Containern annähernd ein monolithisches Verformungsverhalten aufweist. Im Gegensatz dazu konnte im Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen) ein deutliches Abscheren zwischen den untersten Containerlagen erkannt werden, welches die hohen Relativverschiebungen einzelner Lagen zeigen.

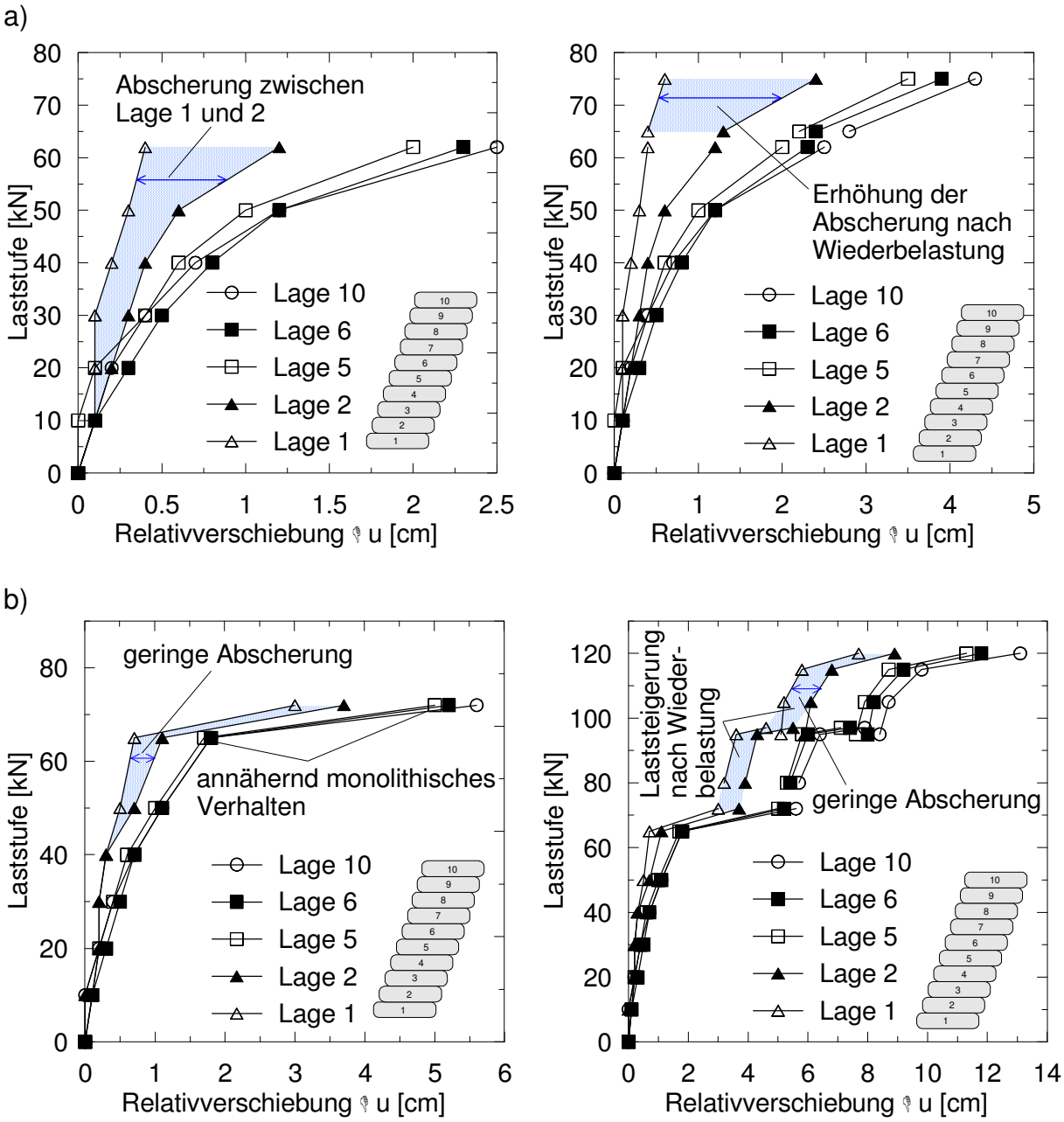


Bild 2.4.32: Relativverschiebung ausgewählter Containerlagen; links jeweils der erste Belastungsvorgang; rechts inkl. Wiederbelastung mit geänder tem Maßstab; a) Modellversuch 1 ohne Klettstreifen; b) Modellversuch 2 mit Klettstreifen

2.4.3.4 Numerische Untersuchung

2.4.3.4.1 Zielsetzung

Ziel der numerischen Untersuchungen war die Simulierung des in den Modellversuchen beobachteten Verformungsverhaltens der Stützkonstruktion (siehe Abschnitt 2.4.3.3) mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode (FEM). Dazu wurde das Programmsystem PLAXIS 8.2 verwendet, welches in der Praxis weit verbreitet ist. Da noch kein allgemeingültiges Berechnungsverfahren zur Bemessung einer Stützkonstruktion aus Containern vorliegt, soll der Praxis damit die Möglichkeit gegeben werden, die Verformungen eines derartigen Bauwerks numerisch näherungsweise erfassen zu können.

Die Methode der finiten Elemente ist ein numerisches Verfahren zur näherungsweisen Lösung von partiellen Differentialgleichungen. Allgemeine physikalische und mathematische Grundlagen sowie Zusammenhänge und Herleitungen der FEM werden hier nicht näher erläutert, sondern sind entsprechender Literatur wie z.B. *Zienkiewicz (1971)* oder *Bathe (2002)* zu entnehmen. Weitere Hinweise zu dem verwendeten Programmsystem sind in *Brinkgreve (2003)* gegeben.

2.4.3.4.2 Berechnungsmodell

Es wurde die in Abschnitt 2.4.3.3 vorgestellten Modellversuche nachgebildet. Dazu wurde das in Bild 2.4.33 dargestellte zweidimensionale numerische Modell erstellt.

Zur Modellierung des Sandes wurde das linear-elastische ideal-plastische Stoffgesetz nach Mohr-Coulomb verwendet. Die Bodenkenngrößen wurden aus *Heitz (2006)* und *Witzel (2004)* entnommen.

Da das Programmsystem keine Elemente für Container zur Verfügung stellt, wurden diese näherungsweise wie folgt vereinfacht: die Umhüllung wurde mit Geokunststoffelementen (geogrids) simuliert und das Füllmaterial mit einem linear-elastischen Stoffgesetz nachgebildet.

Die Nachbildung des Verbundes der einzelnen Container zueinander stellte sich als problematisch heraus. Das FE-Programm stellt zwar zur Simulierung von Kontaktflächen Interface-Elemente zur Verfügung, jedoch haben Voruntersuchungen gezeigt, dass diese bei dieser Anwendung keine zielführenden Ergebnisse lieferten. Ein direktes Aufeinanderlegen der Geokunststoffe bedeutete einen festen Verbund zweier Container miteinander, welches ebenfalls keine befriedigenden Resultate erzielte. Von daher musste ein Medium als Scherzone zwischen die einzelnen Containerlagen gelegt werden, welches in der Lage ist durch Annahmen den Verbund realitäts-

nah nachzubilden, auch wenn die darin gewählten Parameter physikalisch unrealistisch sind.

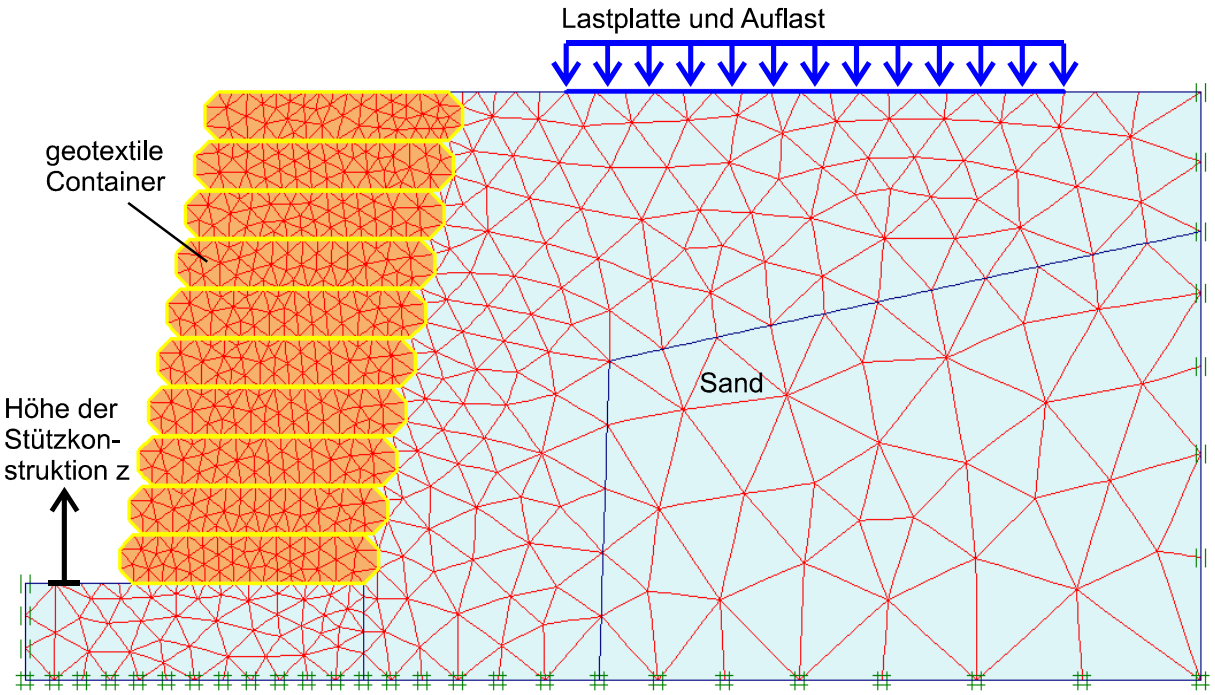


Bild 2.4.33: Zweidimensionales numerisches Modell

Zielführend war nun, wie in Bild 2.4.34 dargestellt, zwischen den einzelnen Containerlagen 2 mm hohe Kontinuumselemente einzuführen, denen unterschiedliche Stoffgesetze zugeordnet worden sind. Die anzugebenden Parameter wurden entsprechend der Verwendung eines Klettstreifens modifiziert, siehe Tabelle 2.5.3.

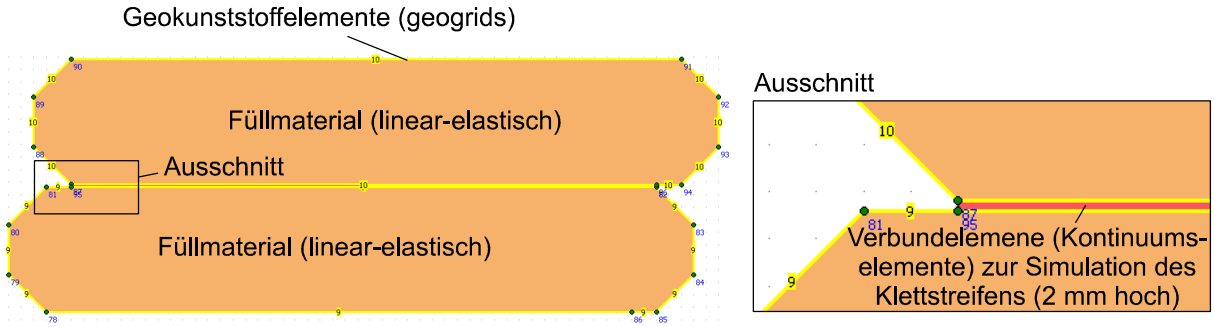


Bild 2.4.34: Simulation der Container und der Klettstreifen

Alle verwendeten Boden- und Materialkenngrößen sind in Tabelle 2.5.3 zusammengefasst.

Für die Durchführung der Berechnung wurde analog zu den in Abschnitt 2.4.3.3 beschriebenen Modellversuchen die gleichen Laststufen gewählt, mit denen das System belastet worden ist. Die numerischen Berechnungen erfolgten jeweils bis zum Ende des 1. Belastungsvorgangs. Um große Verzerrungen einzelner Elemente zu vermeiden, wurde die Berechnung mit der Option *Updated Mesh* durchgeführt. Dabei

wird bei jeder Berechnung das FE-Netz und die Steifigkeitsmatrix aktualisiert, sodass der Einfluss der Netzverformung auf die Gleichgewichtsbedingungen minimiert wird, siehe *Brinkgreve (2003)*.

Tabelle 2.5.3: Verwendete Boden- und Materialkenngrößen für die numerischen Berechnungen

Sand zur Hinterfüllung (Stoffgesetz: Mohr Coulomb)		Verbundelemente (ohne Klettstreifen) (Stoffgesetz: Mohr-Coulomb)	
γ = 16,9 kN/m^3	c = 0,001 kN/m^2	γ = 1 kN/m^3	c = 0,001 kN/m^2
E = 12500 kN/m^2	φ = 39°	E = 500 kN/m^2	φ = 20°
ν = 0,33	ψ = 9°	ν = 0,4	ψ = 0°
Füllmaterial der Container (Stoffgesetz: linear-elastisch)		Verbundelemente (mit Klettstreifen) (Stoffgesetz: linear-elastisch)	
γ = 16,9 kN/m^3	ν = 0,33	γ = 1 kN/m^3	ν = 0,4
E = 12500 kN/m^2		E = 500 kN/m^2	
Vliesstoff (Stoffgesetz: elastisch)			
EA = 25 kN/m			

Die numerischen Berechnungen geben die Systemverformungen qualitativ richtig wieder. Dennoch tritt beim quantitativen Vergleich der Verformungen zwischen den numerischen Berechnungen und den Messergebnissen aus dem Modellversuch eine Abweichung um den Faktor 4 auf. Die Gründe für die Abweichung werden in folgenden Punkten gesehen:

- Keine Verfügbarkeit von Elementen zur Modellierung von Containern;
- Vereinfachung in der Modellierung des Verbundes zwischen den Containern;
- Festlegung der Bodenkenngrößen der Kontaktelemente in der Verbundfuge beruhen auf Annahmen und Ergebnissen von Voruntersuchungen;
- Keine Berechnung großer Verschiebungen mit dem verwendeten FE-Programm möglich.

Der Vergleich zwischen den Verformungen aus der numerischen Berechnung und den Messergebnissen ist in Bild 2.4.35 ohne Verwendung von Klettstreifen und in Bild 2.4.36 unter Verwendung von Klettstreifen dargestellt.

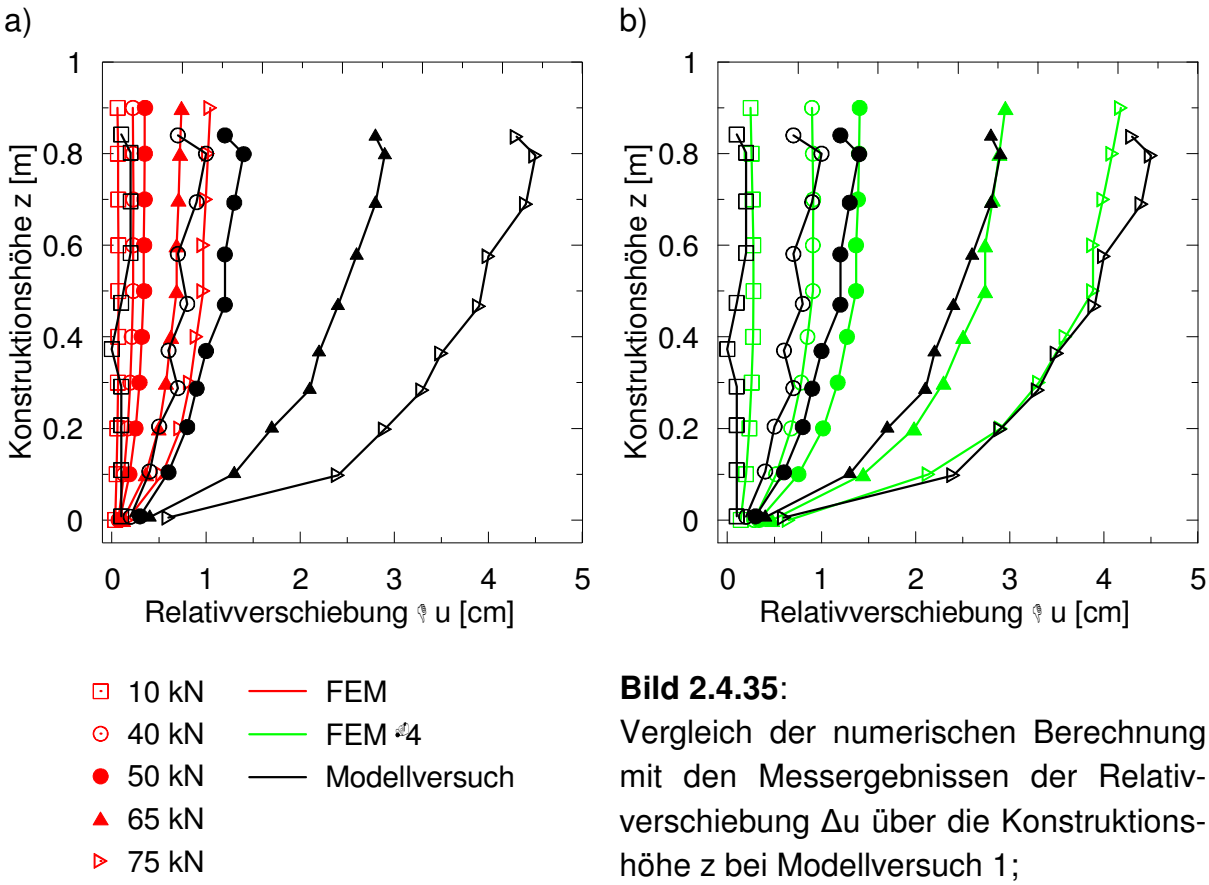


Bild 2.4.35:
Vergleich der numerischen Berechnung mit den Messergebnissen der Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z bei Modellversuch 1;
a) ohne Berücksichtigung eines Anpassungsfaktors;
b) mit Anpassungsfaktor

In Bild 2.4.37 sind die Laststufen über die Relativverschiebungen *Δu* für die numerischen Berechnungen und die Messergebnisse vergleichend dargestellt.

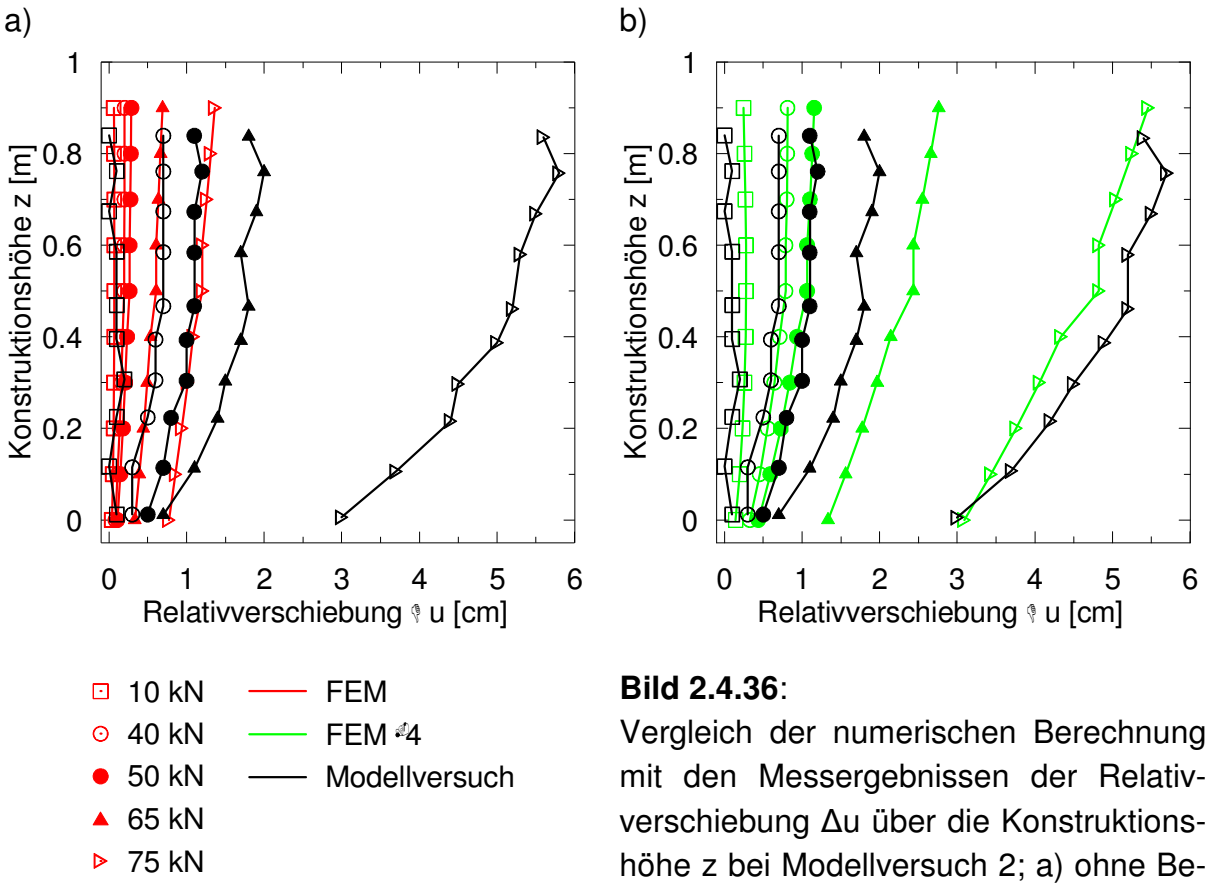


Bild 2.4.36:
Vergleich der numerischen Berechnung mit den Messergebnissen der Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z bei Modellversuch 2; a) ohne Berücksichtigung eines Anpassungsfaktors b) mit Anpassungsfaktor

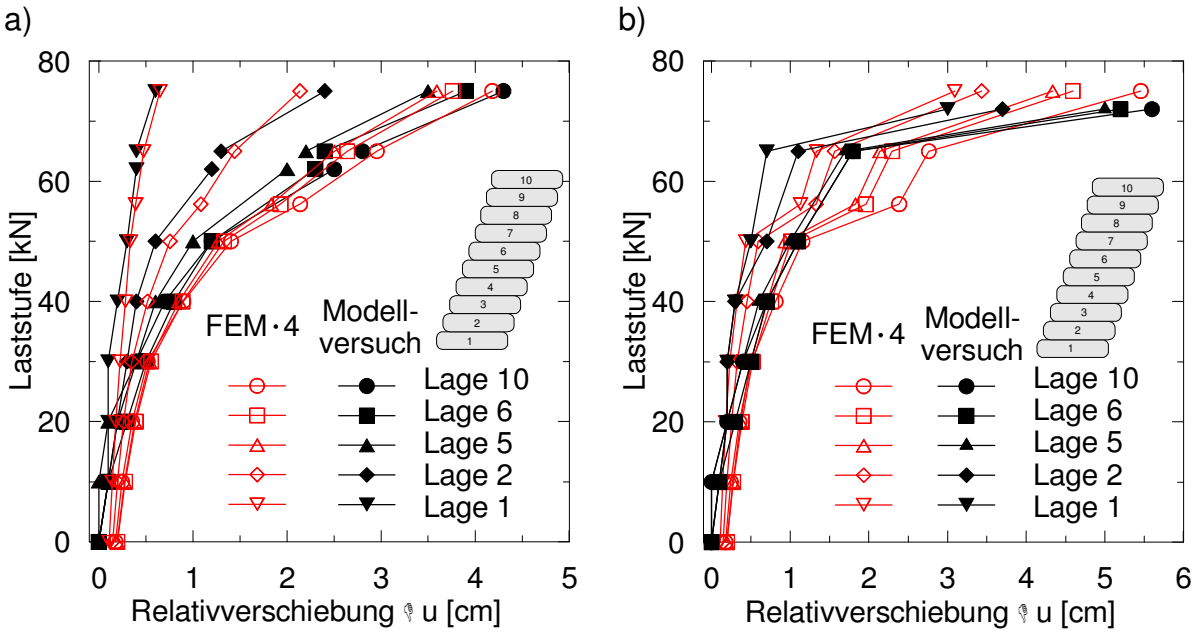


Bild 2.4.37: Vergleich der numerischen Berechnung mit den Messergebnissen der Relativverschiebung Δu über die Laststufen;
a) Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen);
b) Modellversuch 2 (mit Klettstreifen)

Bild 2.4.38 zeigt die numerisch ermittelten horizontalen Spannungen für beide Modellversuche. Im Bereich der untersten Containerlage ist darin bei Modellversuch 1 eine deutlich höhere horizontale Spannung erkennbar als in Modellversuch 2.

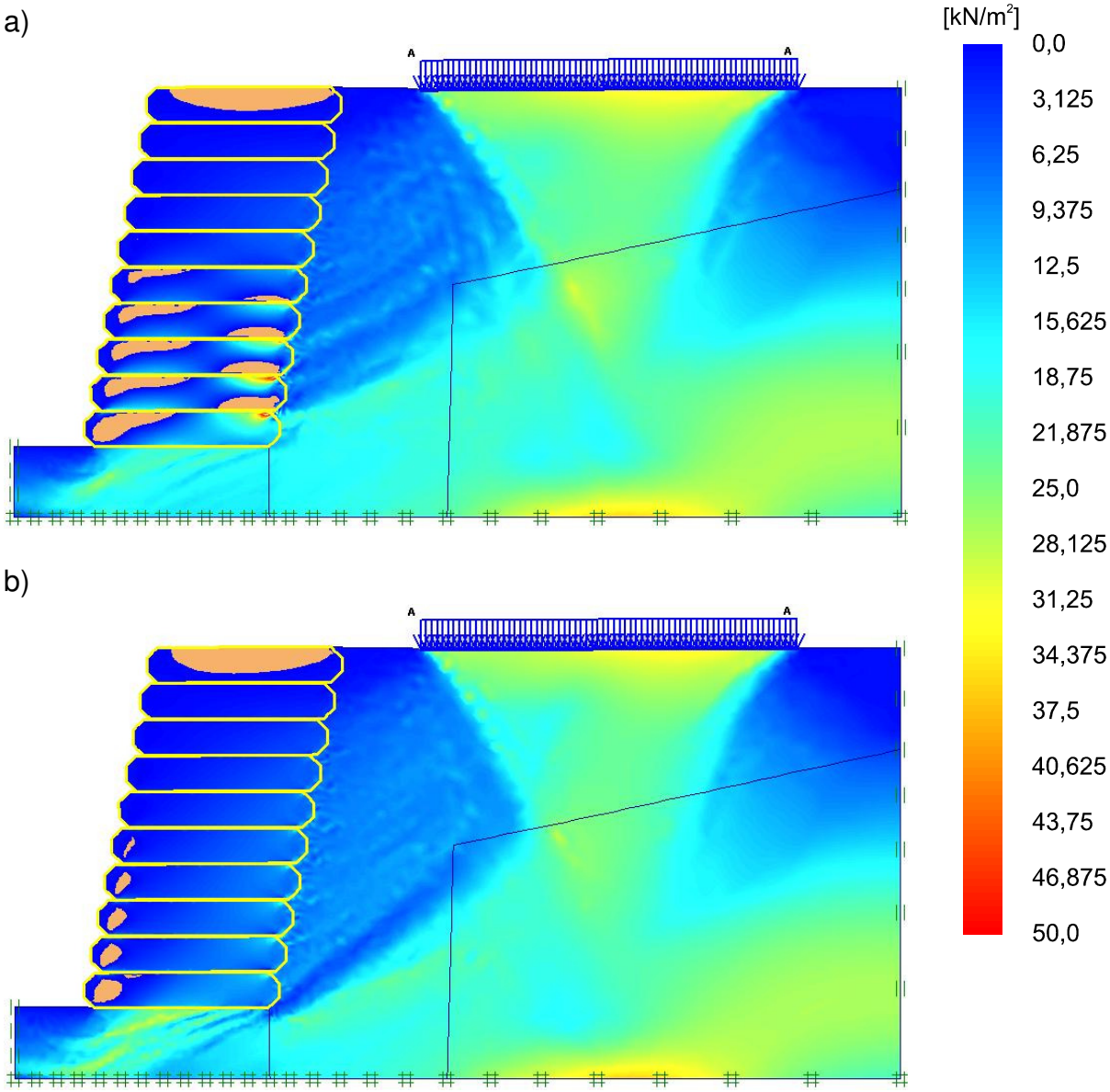


Bild 2.4.38: Numerisch ermittelte horizontale Spannungsverteilung σ_x bei einer Auflast von 65 kN; a) Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen); b) Modellversuch 2 (mit Klettstreifen)

Bild 2.4.39 zeigt die horizontalen Verschiebungen für beide Modellversuche.

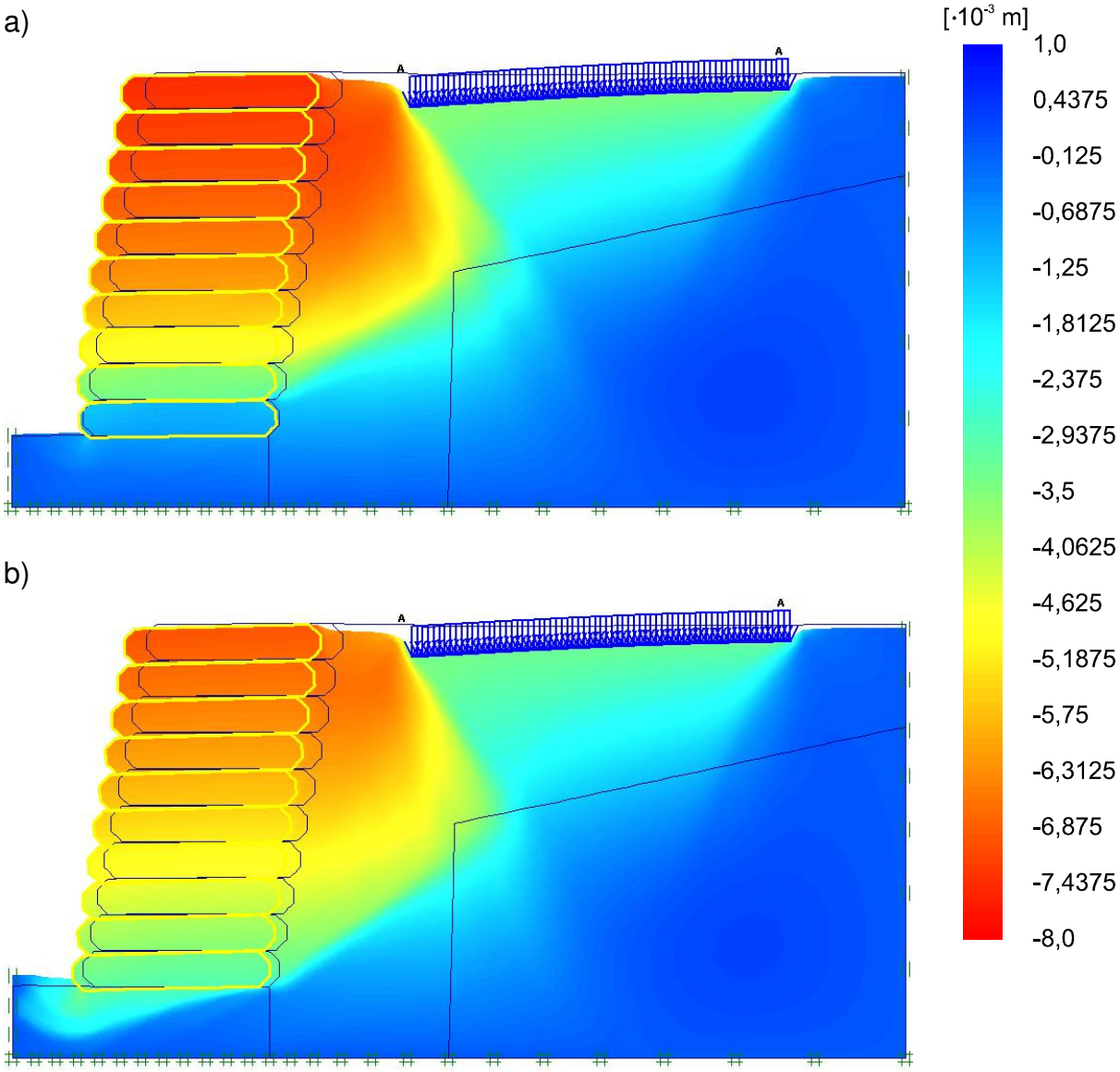


Bild 2.4.39: Numerisch ermittelte horizontale Verschiebung u_x bei einer Auflast von 65 kN; a) Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen); b) Modellversuch 2 (mit Klettstreifen)

ANMERKUNG: Die in Bild 2.4.39 dargestellten horizontalen Verformungen sind nicht mit dem Faktor 4 multipliziert worden. Ebenso sind die Verformungen überhöht dargestellt. Negative Zahlenwerte bedeuten eine Verschiebung nach links und positive Zahlenwerte nach rechts.

In Bild 2.4.39 sind zwei unterschiedliche Bruchmechanismen deutlich erkennbar. Während bei der Stützkonstruktion ohne Klettstreifen die Bruchfuge eindeutig zwischen der ersten und zweiten Containerlage verläuft (siehe Bild 2.4.39a), wird sie bei der Verwendung von Klettstreifen unter die Konstruktion gedrückt (siehe Bild 2.4.39b).

Bild 2.4.40 zeigt den Verlauf der Lastplattensetzung aus den Modellversuchen und den numerischen Berechnungen. Bei den Messwerten aus dem Modellversuch wurden von den beiden Eckpunkten der Lastplatte die Mittelwerte in Bild 2.4.40 dargestellt. Während die numerischen Ergebnisse der Lastplattensetzung an der vorderen Lastplatte (zur Stützkonstruktion hin) annähernd deckungsgleich verlaufen, sind im hinteren Bereich gewisse Abweichungen erkennbar.

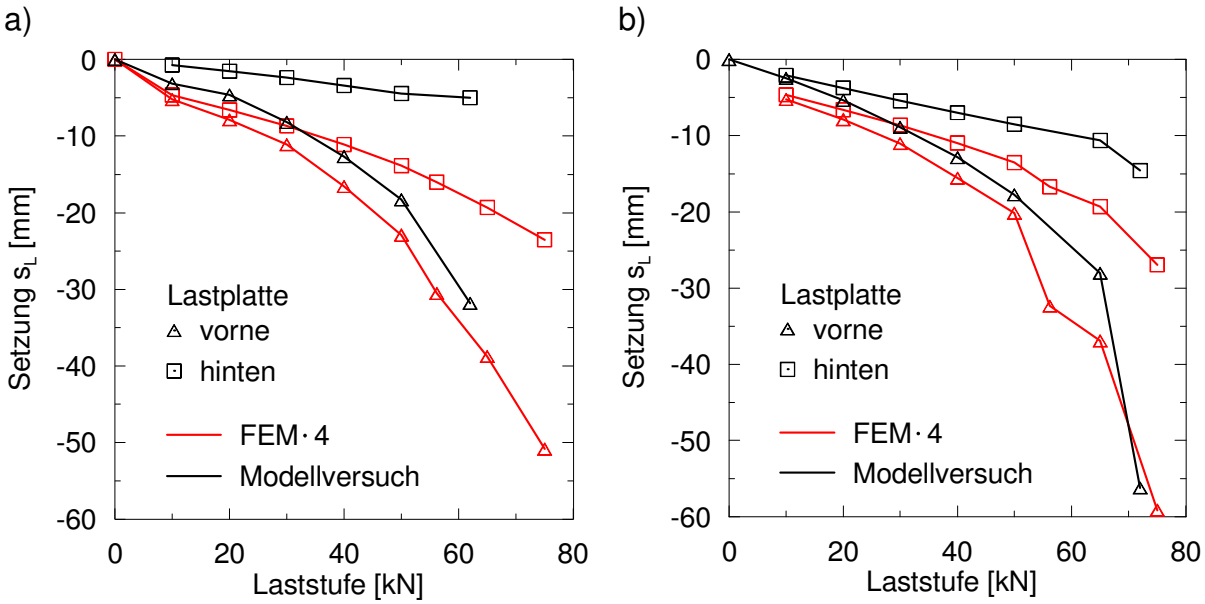


Bild 2.4.40: Vergleich der numerischen Berechnung mit den Messergebnissen der Lastplattensetzung s_L über die Laststufen; a) Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen); b) Modellversuch 2 (mit Klettstreifen)

Bild 2.4.41 zeigt einen Vergleich zwischen den horizontalen Erddruckspannungen aus den numerischen Berechnungen und den Messergebnissen der Modellversuche.

ANMERKUNG: Die in Bild 2.4.41 dargestellten horizontalen Erddrücke geben den mittleren Wert jeder Laststufe an. Von daher sind geringfügige Abweichungen zu Bild 2.4.28 möglich.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass anhand der vorgestellten FEM Analyse eine Abbildung der durchgeführten Modellversuche und eine weitergehende Untersuchung möglich ist. Dennoch mussten einige Vereinfachungen getroffen werden, bei denen zum Teil physikalisch nicht nachvollziehbare Annahmen getroffen werden mussten. Somit ist primär die Modellierung der Container und das Verbundverhalten zukünftig einer weiterführenden Bearbeitung zu unterziehen.

Es wird empfohlen, die numerische Berechnung vergleichend bei der Dimensionierung von Bauwerken aus Containern anzuwenden, um damit weitere Erfahrungswerte zu sammeln.

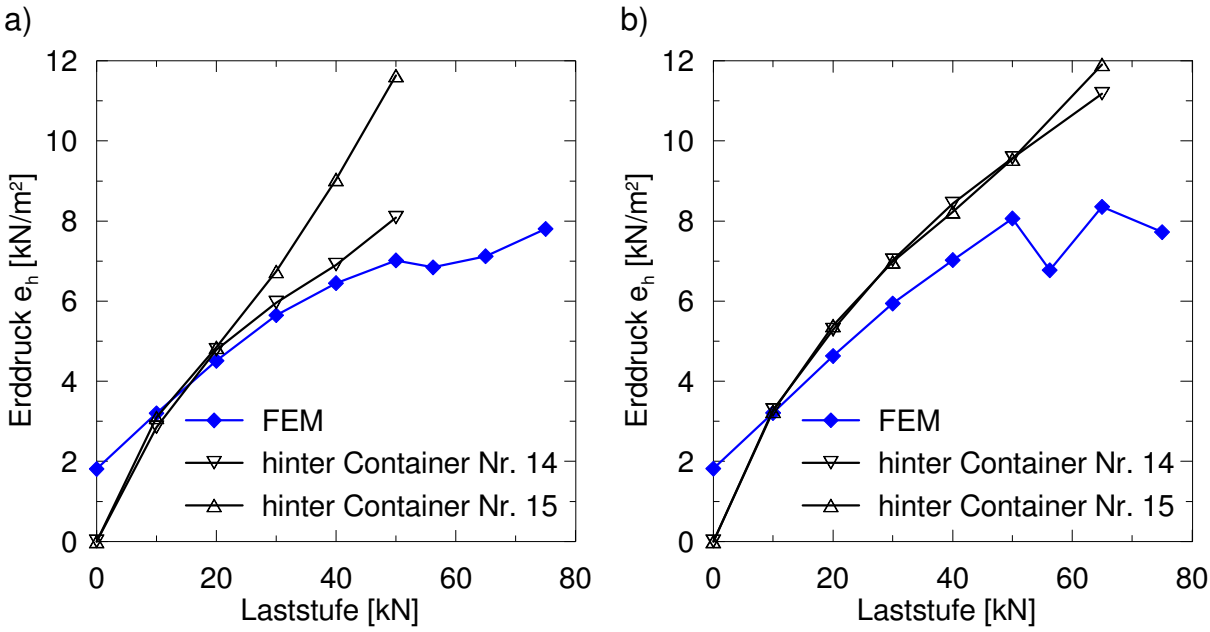


Bild 2.4.41: Vergleich der Erddruckspannungen e_h aus den numerischen Berechnungen und den Messergebnissen a) Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen); b) Modellversuch 2 (mit Klettstreifen)

2.5 Praktische Anwendungsuntersuchungen

2.5.1 Zielsetzung und Allgemeines

Um die Erkenntnisse aus den Modellversuchen und den numerischen Berechnungen in der Praxis zu überprüfen, wurden drei Feldversuche aus den Bereichen Binnenwasserbau, Küstenschutz und Erdbau durchgeführt. Die Feldversuche und die dabei gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen werden im Folgenden dokumentiert. Alle aufgezeichneten Messwerte sind zusätzlich im Anhang A.3 dargestellt.

2.5.2 Anwendung im Binnenwasserbau[3]

2.5.2.1 Versuchsdurchführung

Dieser Feldversuch wurde von der Firma Colcrete - von Essen GmbH & Co. KG durchgeführt. Die zur Verfügung gestellten Container wurden vor der Durchführung des Feldversuches mehreren Voruntersuchungen zum Füllvorgang und zur Klettwirkung unterzogen. Die Container bestanden aus dem flauschigen Vliesstoff mit einem Flächengewicht von 500 g/m^2. Bei dem Füllvorgang stellte sich heraus, dass sich überlaufender Sand in die offenere Faserstruktur setzte, welches sich negativ auf die Klettwirkung ausübte. Bei Vergleichsuntersuchungen mit fest vernadelten Vliesstoff ist dieser Effekt nicht aufgetreten.

Klettstreifen, die einmal mit Vliesstoff in Berührung kamen, verloren bereits einen Großteil ihrer Klettwirkung. Die Folge daraus war, dass, wie bereits auch schon in Abschnitt 2.4.3.2.4 gezeigt, nach einem mehrmaligen Berühren des Klettstreifens mit dem Vliesstoff keine Klettwirkung mehr vorhanden war. In den Vorversuchen hat sich somit ein fest vernadeltes Vliesstoff als geeigneter herausgestellt. Als Klettstreifen wurde der Typ 2 verwendet, siehe Abschnitt 2.4.3.2.1.

Die Feldversuche wurden auf dem Bauhof der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung Blexen/Nordenham durchgeführt. Die Container wurden dort als Begrenzung eines Spülfeldes eingesetzt, siehe Bild 2.5.1. Das Bauwerk bestand aus zwei Querdämmen und einem Längsdamm, der in zwei Bereiche unterteilt worden ist, in denen 7 bis 8 m lange Abschnitte aus Containern mit bzw. ohne Klettstreifen angeordnet worden sind. Die Höhe der Konstruktion betrug ca. 3 m. Es sind insgesamt 7 bis 8 Containerlagen vorgesehen gewesen. Die unterste Lage bestand aus 3 mit ihrer Längsachse hintereinander gelegten Containern, die sich bis auf die oberste Lage auf 2 Container hintereinander in Längsachse verjüngten. Als Kopfabschluss wurde ein Container mit der Längsachse quer zu den anderen Containern als Abschluss angeordnet. Es wurden jeweils ca. 150 Container benötigt.

---

[3] Abschnitt 2.5.2 wurde maßgeblich durch die Fa. Colcrete- von Essen GmbH&Co KG unter Einbeziehung der Universität Kassel, Fachgebiet Geotechnik erarbeitet

Als Versuchsprogramm waren tachymetrische Verformungsmessungen geplant. Dafür wurden einzelne Container an der Außenseite der Konstruktion mit einer Messmarke versehen, die stellvertretend für die Gesamtverformung des Containers standen.

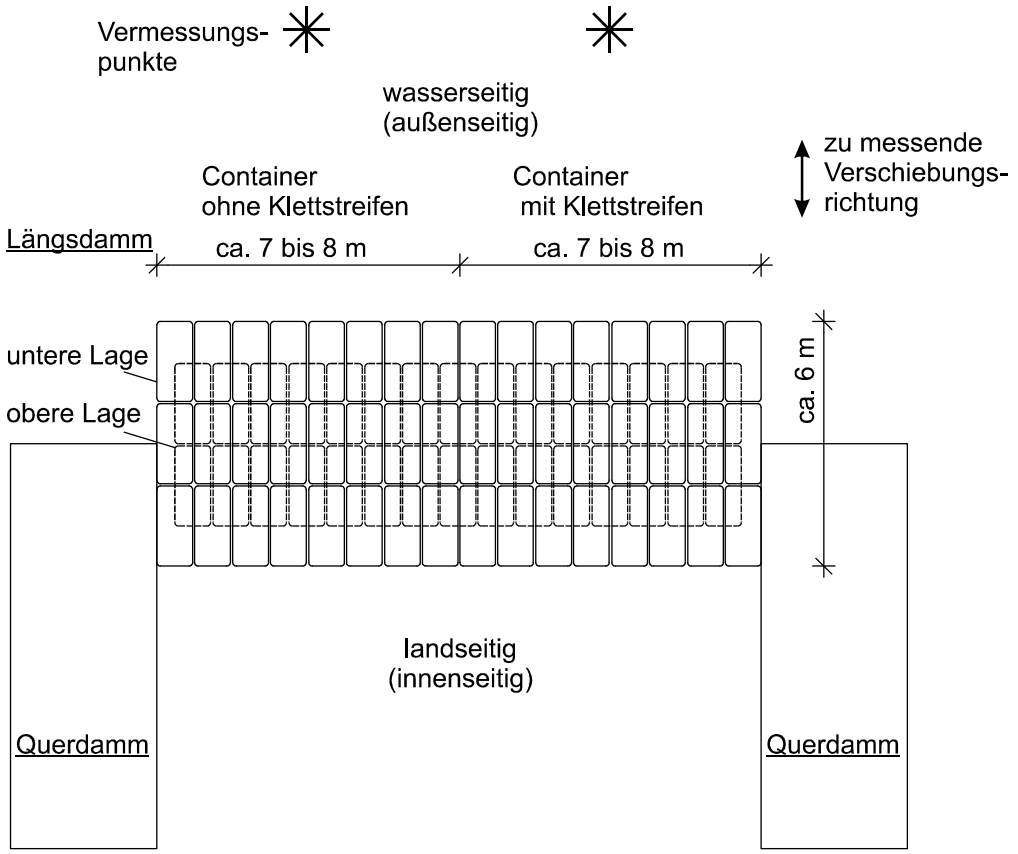


Bild 2.5.1*:* Schematischer Lageplan für die Anordnung der Container und der Vermessungspunkte

Das Befüllen der Container erfolgte mit einer Füllanlage, dargestellt in Bild 2.5.2. Dazu wurden die leeren Containerhüllen an der Maschine befestigt und mit einem Füllgrad von ca 80 % befüllt. Als Füllmaterial wurde ein Grubensand mit einer Körnung von 0 bis 2 mm verwendet. Das Verschließen der Container erfolgte manuell mit einer Handnähmaschine der Fa. Union Special, Typ 2200 AS.

a) b)

Bild2.5.2: a) Füllanlage; b) Befüllung eines Containers

Es wurde jedoch bei der Befüllung der Container mit Klettstreifen ein teilweises Lösen der Klettstreifen festgestellt. Diese Erscheinung verstärkte sich während des Transportes von der Füllstation zum Zwischenlager.

Außerdem platzten bei mehreren Containern aus flauschigem Vliesstoff mit Klettstreifen die Seitennähte bei der Verfüllung bzw. beim Transport auf, siehe Bild 2.5.3.

a) b)

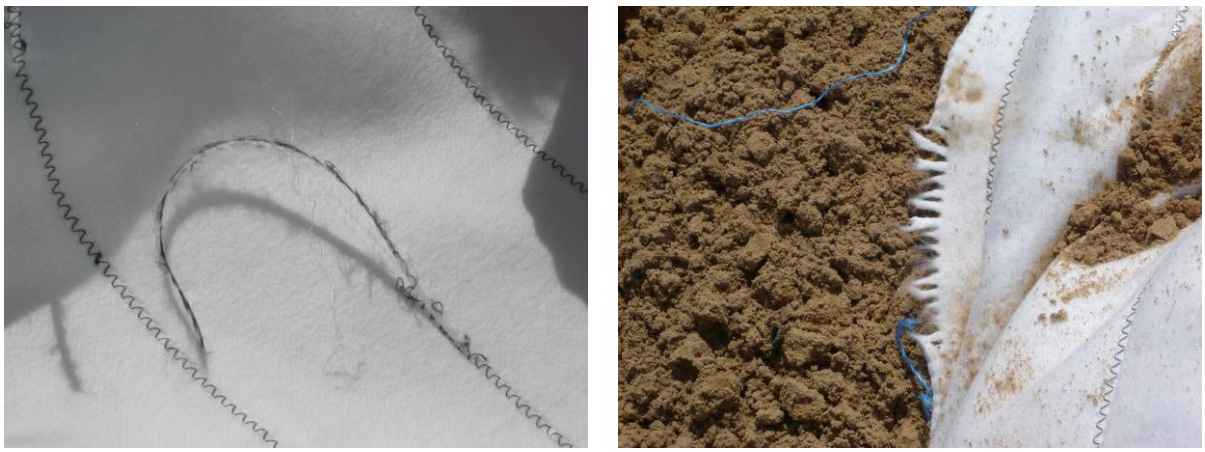


Bild 2.5.3: a) Abgerissene Klettstreifen nach dem Füllvorgang;
b) Aufgerissene Seitennähte

Der Transport der Container erfolgte einzeln per Radlader. Zusätzlich wurden die Container einzeln gelagert, um die Wirksamkeit der Klettstreifen zu erhalten. Dieses Vorgehen ist jedoch noch verbesserungsfähig, da die Lagerung und der Transport der Container mit dieser Methode unwirtschaftlich ist.

Der Einbau erfolgte mit einer Greiferkonstruktion, siehe Bild 2.5.4.

a) b)

Bild 2.5.4: a) Transport der Container nach dem Füllvorgang;
b) Einbau der Container mittels Greiferkonstruktion

Um auch noch einmal zu demonstrieren, wie stark und fest die Baustellennaht ist, wurde ein gefüllter Container ohne Klettstreifen über eine eingenähte Schlaufe hochgezogen. Die Baustellennaht hielt der Beanspruchung stand. Als Nebeneffekt konnte man erkennen, dass im Vliesstoff des Containers ohne Klettstreifen eine Dehnung von ca. 60 % auftrat, ohne unter dieser Belastung zu reißen. Ein hochgezogener gefüllter Container mit Klettstreifen erreichte eine insgesamt geringere Dehnung von ca. 45 %. Die Klettstreifen reduzierten die Dehnung somit um ca. 15 % und wirkten als Dehnungsbegrenzung, siehe Bild 2.5.5.

a) b)

Bild 2.5.5: Hochgezogener Container a) ohne Klettstreifen; b) mit Klettstreifen

Bild 2.5.6 zeigt das fertig gestellte Bauwerk.

Bild 2.5.6: Ansicht des fertig gestellten Bauwerks

Die Belastung der Konstruktion erfolgte einerseits über den eingebauten Sand und andererseits über die Tide der Weser. Der Tidenhub lag auf Höhe der obersten Containerlage.

2.5.2.2 Auswertung und Erkenntnisse

In Bild 2.5.7 ist die horizontale Relativverschiebung Δu der untersuchten Schnitte über die Konstruktionshöhe z aufgetragen. Die Anordnung der Schnitte und die Messpunkte sind im Anhang A.3 dokumentiert.

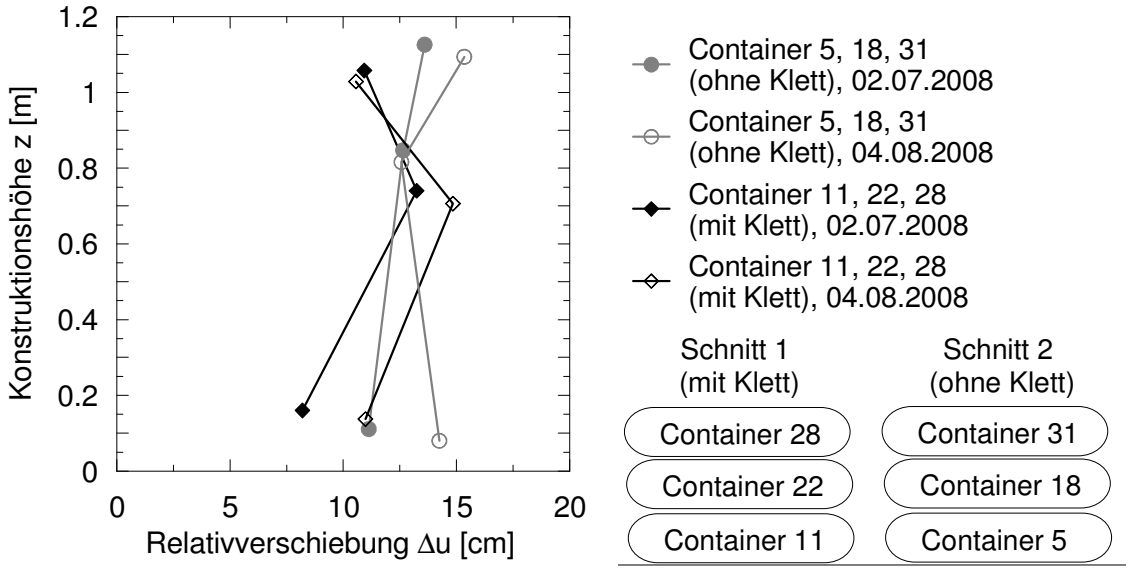


Bild 2.5.7: Darstellung der Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z für den Schnitt 1 (mit Klettstreifen) und den Schnitt 2 (ohne Klettstreifen) zum Anfangs- und Endzeitpunkt des Feldversuches

Ein Vergleich der beiden Schnitte lässt jedoch keinen signifikanten Unterschied erkennen. Die Relativverschiebungen weisen eine vergleichbare Größenordnung auf. Ergänzend dazu ist in Bild 2.5.8 die Relativverschiebung Δu über den Messzeitraum aufgetragen.

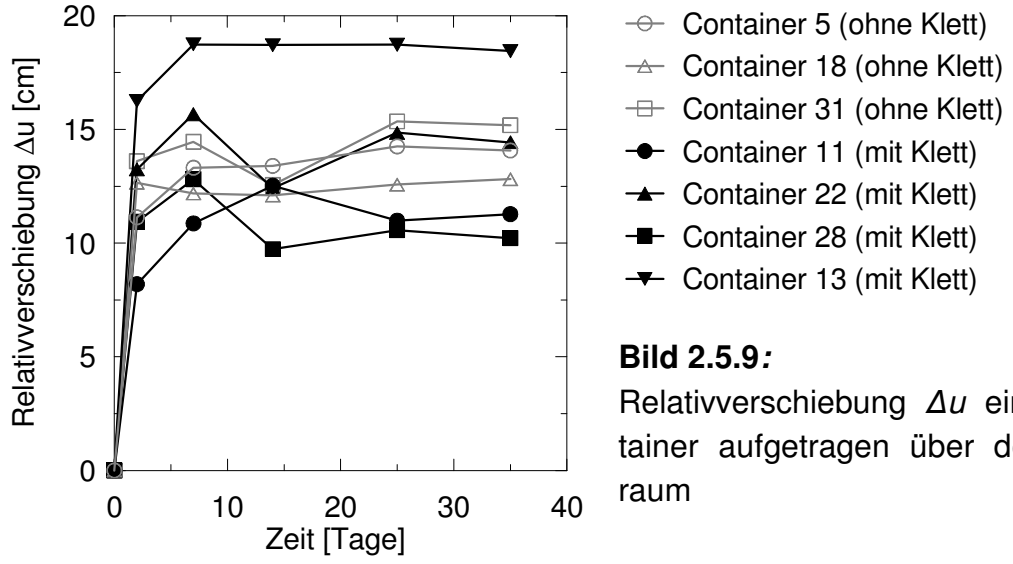


Bild 2.5.9*:*
Relativverschiebung Δu einzelner Container aufgetragen über den Messzeitraum

Es fällt auf, dass die Verschiebungen nach zwei bis drei Tagen abgeklungen sind. Obwohl die Konstruktion durch die Tide beeinflusst wird, treten keine weiteren Verschiebungen im Messzeitraum auf.

Das Befüllen der Container und das Vernähen der Füllöffnung bereiteten keine Probleme. Der Verschleiß der Nähmaschinen und der Bruch der Nähnadeln waren im bekannten üblichen Rahmen. Die Praxistauglichkeit der Container mit Klettstreifen wird jedoch noch als schwierig angesehen, da diese aufgrund der verlierenden Klettwirkung bei Stapelung nicht per Schiff im gefüllten Zustand zum Einbauort transportiert werden können. Das Abdecken einzelner Container (oder Containerlagen) zum Schutz der Klettstreifen durch Folien, etc. wird durch die dadurch entstehende Müllproblematik (gerade auch im maritimen Bereich) als nicht zielführend angesehen. [4]

Vorteile für Container mit Klettstreifen werden gesehen, wenn diese direkt nach dem Füllvorgang ohne Transportwege eingebaut werden können.

2.5.3 Anwendung im Küstenschutz[5]

2.5.3.1 Versuchsdurchführung

Die Feldversuche zum Wasserbau unter Tideeinfluss und Seegangsbedingungen zur Anwendung im Küstenschutz wurden von der Fa. Heinrich Hirdes GmbH durchgeführt. Dabei gestaltete sich die Bereitstellung eines geeigneten Erprobungsfeldes als außergewöhnlich schwierig. Es wurden umfangreiche Gespräche mit Ämtern potenzieller künftiger Nutzer von Containern mit Klettstreifen aus den Bereichen Küstenschutz, Bundeswasserstrassen und Häfen geführt, um ein geeignetes Erprobungsfeld auszuwählen. Genehmigungsrechtliche Hürden ließen fast alle ausgewählten Standorte trotz guten Willens aller einbezogenen Ämter scheitern. Erst im 2. Halbjahr 2008 konnte das Wasser- und Schifffahrtsamt Stralsund gewonnen werden das Spülfeld Drigge (Insel Rügen) für die Feldversuche zur Verfügung zu stellen. Zwar war dies nicht der optimale Standort für derartige Versuche, jedoch gab es hier die geringsten genehmigungsrechtlichen Probleme.

---

[4] Eine Möglichkeit, dieses Problem zu lösen, könnte in der Verwendung bei der Herstellung aufgenähter, schnell abbaubarer bzw. sich auflösender Abdeckmaterialien bestehen, so dass der Kletteffekt erst nach dem Einbau wirkt.. Hierzu sind jedoch grundlegende Untersuchungen notwendig.

[5] Abschnitt 2.5.3 wurde maßgeblich durch die Fa. Heinrich Hirdes GmbH unter Einbeziehung der Universität Kassel, Fachgebiet Geotechnik erarbeitet.

Aufgrund der schlechten Witterungsbedingungen war das Versuchsfeld nicht mehr mit schwerem Gerät befahrbar. Daher konnten die Versuche nicht im Herbst 2008 durchgeführt werden, sondern mussten auf das Frühjahr 2009 verschoben werden.

Neben der planerischen Tätigkeit zu geeigneten Feldversuchen standen die Entwicklung und die Bauvorbereitung von Befüllungs- und Einbautechnik im Mittelpunkt. Da die bisher für Container eingesetzte Befülltechnik nicht für Container mit Klettstreifen geeignet war, mussten neue Systeme entwickelt werden. Dazu wurden unterschiedliche Vortests zum Befüllen, Verschließen, Transport und Einbau auf dem Bauhof durchgeführt.

Das Befüllen einzelner Container über eine Trichteranlage war problemlos. Dabei wurde jedoch deutlich, dass eine Fertigung großer Stückzahlen, wie bei Projekten im Küstenwasserbau üblich, eine andere Technik erfordert. Die bisher für konventionelle Container verwendete, verfahrbare Anlage, mit der bis zu 700 Stück pro Tag hergestellt werden konnten, ließ sich nicht anwenden, da die Klettverbindungen bereits im Füllprozess beim Berühren einzelner Container ihre Wirkung entfalten.

Bei der Handhabung der Container, d.h. Transport zum Zwischenlagerplatz, Zwischenlagerung und Verladung zum Einbau, konnte festgestellt werden, dass nach mehrmaliger Berührung der Klettstreifen mit dem Vliesstoff und bei Bodenkontakt die Klettwirkung erheblich nachlässt. Bei der Zwischenlagerung und beim Transport müssen die Container einzeln ohne Berührung mit anderen Containern oder mit besonderen Schutzmaßnahmen, wie z.B. Baufolie, bewegt oder gelagert werden, damit der Verbundeffekt zwischen Klettstreifen und Vliesstoff erst im eingebauten Zustand genutzt wird. Dadurch entsteht allerdings Mehraufwand.

Ein weiterer Teil der planerischen Tätigkeit lag in der Entwicklung einer für Container zweckmäßigen Befüllanlage, da die ersten Füllversuche mit Mustercontainern ergeben haben, dass die bisher für konventionelle Container eingesetzte Befülltechnik nur unzureichend geeignet ist. Schematisch ist die neu entwickelte Anlage im Bild 2.5.10 erkennbar. Die Entwicklung dieser Anlage wurde abgeschlossen und die Konstruktionsunterlagen bis zu den Werkstattzeichnungen fertig gestellt. Dabei wurde Wert darauf gelegt, dass in der Anlage die Container beim Befüllen und Verschließen nicht miteinander in Berührung kommen und möglichst relativ hohe Stückzahlen gefertigt werden können. Mit der Karussell – Befüllanlage wird dies erreicht werden.

Diese Anlage wurde in den Investitionsplan der Firma Heinrich Hirdes aufgenommen. Es wurden Angebote für die Herstellung einer solchen Anlage eingeholt und eine Entscheidungsgrundlage für die Geschäftsführung erarbeitet. Bei einem entsprechenden Bedarf für eine konkrete Baumaßnahme kann umgehend eine Bestellung ausgelöst werden.

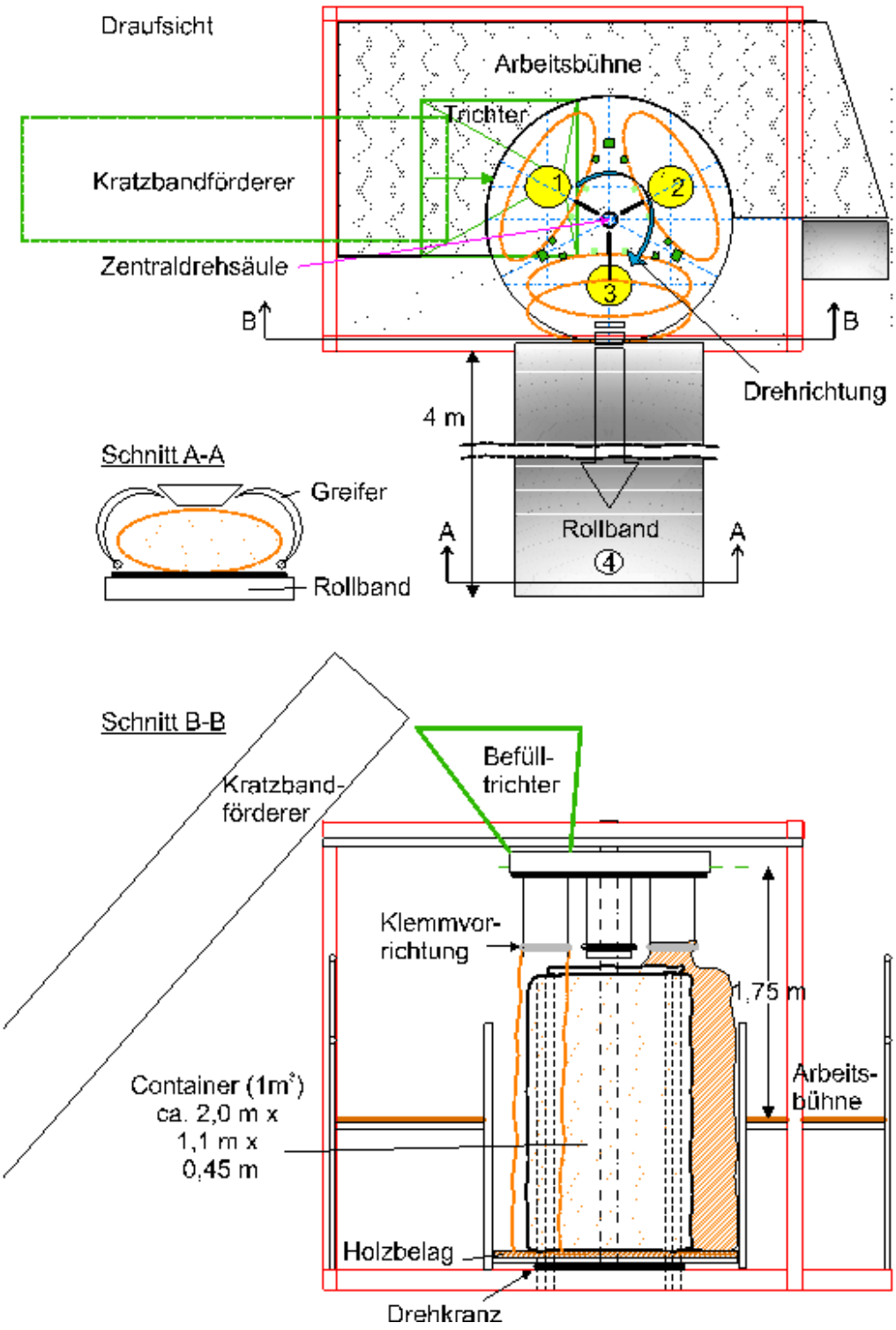


Bild 2.5.10: Schematische Darstellung einer Karussell – Befüllanlage für Contai ner mit Klettstreifen

Im Bild 2.5.11 sind die technologischen Abläufe bei der Befüllung und Zwischenlagerung von Containern mit Klettstreifen dargestellt. Die optimalen Werkzeuge zum Aufnehmen und Umsetzen der Container sind zangenartige Greifvorrichtungen mit abgerundeten Kanten, wie sie sich auch beim Handhaben und Einbauen konventioneller Container ohne Klettstreifen bewährt haben. In der erarbeiteten Füll – und Zwischenlagertechnologie wird erwartet, dass insbesondere bei großen Stückzahlen zu befüllender Container diese Anlage eine hohe Effektivität erreichen wird.

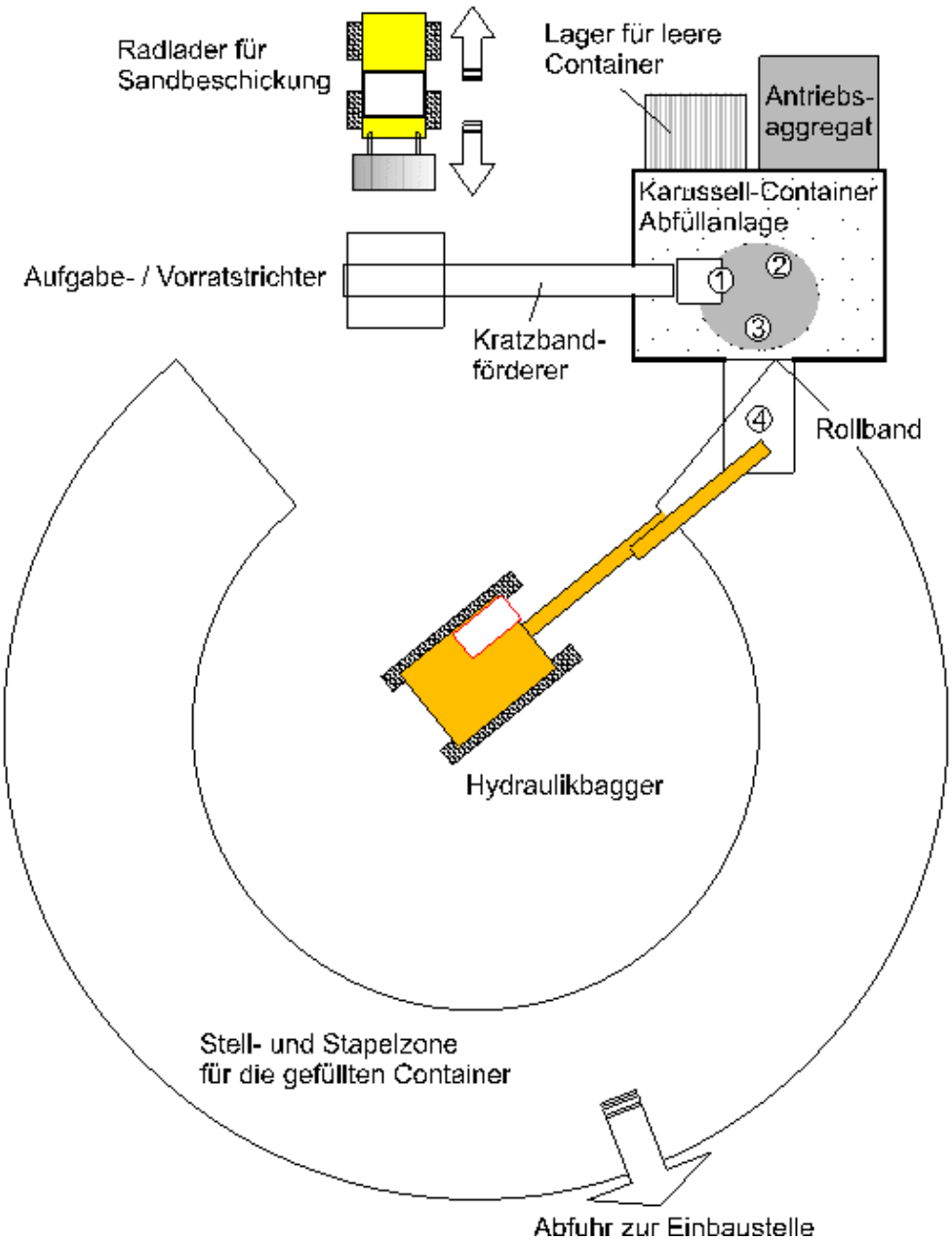


Bild 2.5.11: Schema Fertigungsplatz für Container mit Klettstreifen

Die umfangreichen Erfahrungen mit konventionellen Containern ohne Klettstreifen haben das Verschließen als einen sehr wichtigen Arbeitsschritt identifiziert. Zunächst wurde zum Verschließen der Container die konventionelle Vernähtechnik mit zwei

Fäden (siehe Bild 2.5.12a) eingesetzt. Da sich diese unter Baustellenbedingungen im Wasserbau in der Vergangenheit als sehr störanfällig gezeigt hatte, wurden alternativ auch Versuche mit verzinkten Klammern unterschiedlicher Größe durchgeführt.

a) b)

Bild 2.5.12: a) Vernähen von Containern; b) Druckluftbetriebene Breitklammerzange zum Verschließen der Container

Das Verschließen der Container erfolgte dabei mit einer druckluftbetriebenen Breitklammerzange (siehe Bild 2.5.12b). Im Rahmen der Versuche wurde die optimale Klammergröße zum Verschließen ermittelt (siehe Bild 2.5.13). Nach zahlreichen Tests erwies sich eine Klammergröße von 28 mm als optimal.

a) b)

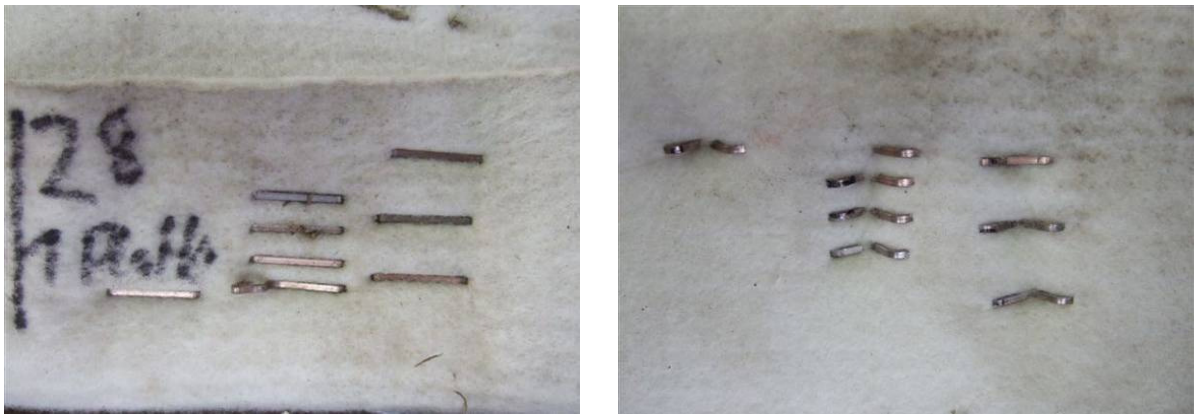


Bild 2.5.13: Zahlreiche Tests zur Klammerwahl führten zum Optimum
a) Vorderseite der Klammern; b) Rückseite der Klammern

Während der Feldversuche hat sich diese Verschlusstechnik auch bei einer größeren Anzahl von Containern als eine Alternative zum Vernähen bewährt. Das Klam-

mergerät war leicht auf der Baustelle zu handhaben. Es hatte ebenfalls die erforderliche Robustheit für den Baustellenbetrieb. Bodenanhaftungen an den Containern führten im Gegensatz zur Vernähtechnik nicht zum Ausfall des Gerätes. Für den temporären Einsatz von Containern kann mit verzinkten Klammern gearbeitet werden. Wird eine Beständigkeit über viele Jahre gefordert oder sollen die Container im Dauereinsatz unter Wasser verwendet werden, müssen Klammern aus Edelstahl eingesetzt werden. Dies ist jedoch nur bei sehr großen Stückzahlen wirtschaftlich, da Edelstahlklammern nur in Großgebinden lieferbar sind.

Die Feldversuche wurden Anfang Mai 2009 auf dem Spülfeld Drigge des WSA Stralsund durchgeführt. Da die Anzahl der zu befüllenden Container relativ gering war, wurde die Befüllanlage der Firma Colcrete - von Essen GmbH & Co. KG (siehe Abschnitt 2.5.2.1), die gerade in der Nähe eingesetzt war, zur Befüllung der Container verwendet.

Zunächst wurde ein Dehnungstest mit dem noch nicht im Feldversuch eingesetzten Klettstreifentyp 3 (siehe Abschnitt 2.4.3.2.1) durchgeführt, siehe Bild 2.5.14.

Bild 2.5.14:
Dehnungstest mit Klettstreifentyp 3

Das Verhalten dieser Container war deutlich besser als das der Container mit dem Klettstreifentyp 2, siehe Abschnitt 2.5.2.1. Es war kein Reißen der Nähte der Klettstreifen feststellbar, d.h. dieser Klettstreifentyp 3 wies ein größeres Dehnungsvermögen auf als der Klettstreifentyp 2. Die Dehnung des Containers lag bei ca. 55 %. Das Füllmaterial war vergleichbar wie im Feldversuch nach Abschnitt 2.5.2.1.

Für den Feldversuch wurde eine Dammkonstruktion geplant. Dieser Damm bestand zu jeweils einem Drittel aus Containern mit dem Klettstreifentyp 2, Containern mit Klettstreifentyp 3 und aus Containern ohne Klettstreifen. Der Versuchsaufbau ist als Drauf- und Ansicht in Bild 2.5.15 dargestellt.

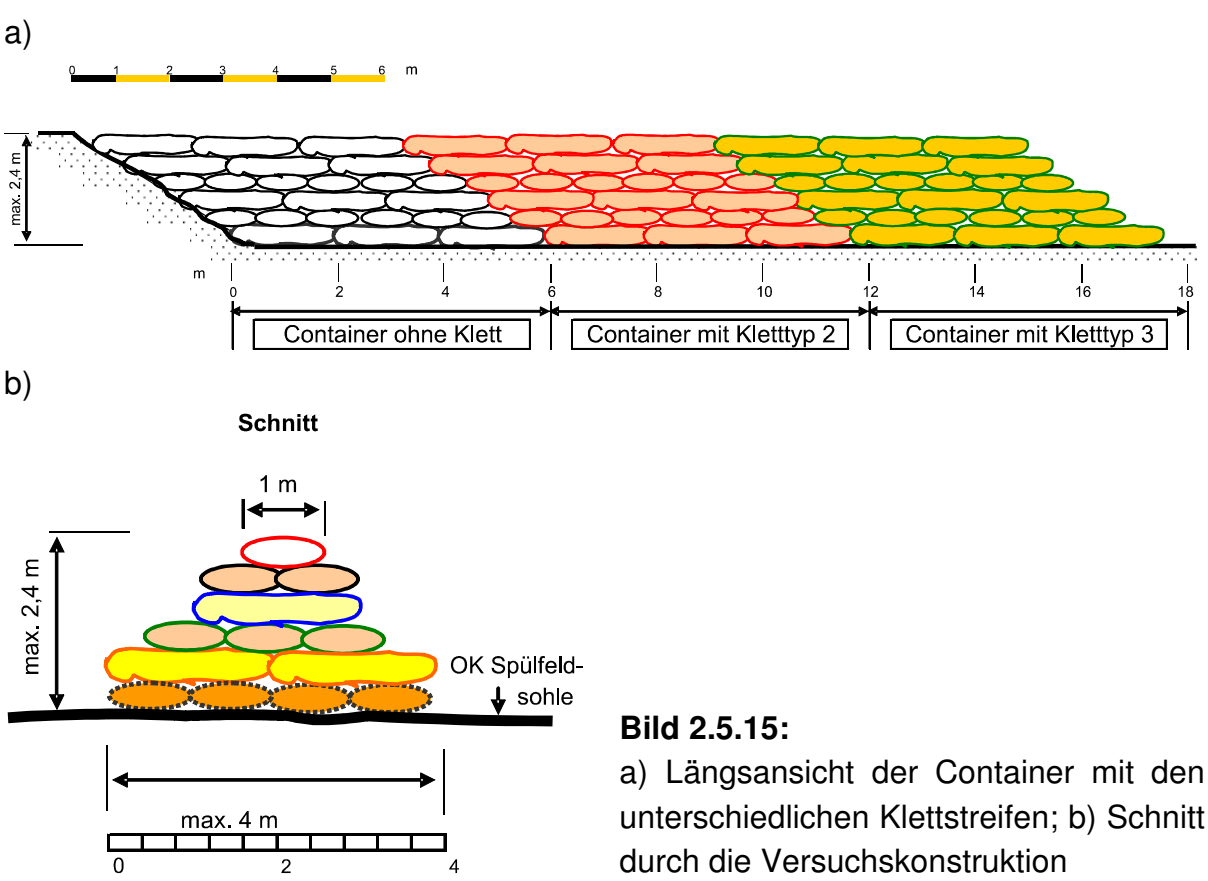


Bild 2.5.15:
a) Längsansicht der Container mit den unterschiedlichen Klettstreifen; b) Schnitt durch die Versuchskonstruktion

Die Besonderheit dieses Versuches bestand darin, dass als Füllmaterial Baggergut aus dem Spülfeld Drigge mit einem hohen Anteil bindiger Bestandteile verwendet wurde. Dieser war infolge eines Bearbeitungsprozesses mit Wassergehalten von w = 74 % bis 108 % gut als Füllmaterial zu gebrauchen. Die Dichte des eingesetzten Materiales lag bei ρ = 1,49 bis 1,53 g/cm^3.

Die Befüllung der Container erfolgte einzeln und bei der Zwischenlagerung wurde darauf geachtet, dass keine Berührungen der Klettstreifen mit dem Vliesstoff eintraten. Kontakt zwischen Klettstreifen und Boden ließ sich allerdings nicht vermeiden.

Das Verschließen erfolgte mit dem in den Erprobungen bewährten Klammergerät. Bild 2.5.16 zeigt den Verschlusszustand bei einem Container. Weder im Zwischenlagerprozess noch beim Verlegen der Container kam es zu Problemen mit dem Verschluss.

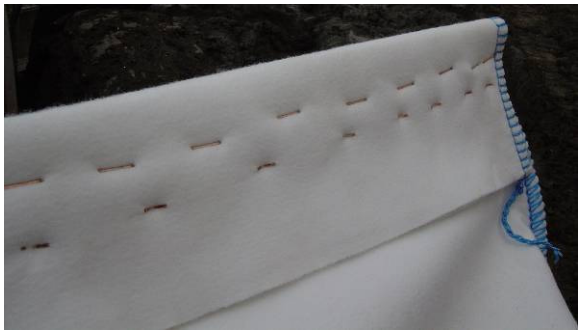


Bild 2.5.16:
Mit Klammern verschlossener Container

Für den Einbau der Container wurde eine angepasste hydraulische Rohrzange verwendet. Diese verhinderte eine mechanische Beschädigung im Einbauprozess. Bild 2.5.17 zeigt den Einbau der Container. Dabei ließ sich trotz großer Sorgfalt ein gewisse Verschmutzung der Container nicht verhindern.

Bild 2.5.17: Verlegen und Einbau der Container

Die hohe Flexibilität des Geotextils wird im Bild 2.5.17 sehr deutlich. Sichtbar ist bei diesem Bild auch, dass sich Bodenkontakte der Klettstreifen in der Praxis nie vermeiden lassen. Alleine durch den ständigen Bodenkontakt des Einbauwerkzeuges und Andrücken der Container verschmutzen die Klettbänder, was zur Reduzierung der Klettwirkung führt.

Im Füll-, Zwischenlager- und Einbauprozess waren keine extremen Unterschiede zwischen den Containern mit Klettstreifen und denen ohne Klettstreifen erkennbar. Jedoch erwies sich der Container mit dem Klettstreifentyp 3 als wesentlich robuster gegenüber den Containern mit Klettstreifentyp 2. Diese Robustheit ist eine sehr wichtige Eigenschaft für Baustellenverwendungen. Es sind auf einigen Baustellen auch mehrfache Verwendungen der Container für temporäre Maßnahmen denkbar. Hierbei müssen allerdings noch Lösungen gefunden werden, bei denen der Klettstreifen nicht nach der ersten Berührung die Klettwirkung verliert.

Nach Fertigstellung des Dammbauwerks wurden die verschiedenen Messpunkte markiert und geodätisch eingemessen. Alle Messergebnisse sind im Anhang A.3 dokumentiert.

Danach wurde hinter dem Damm einseitig Boden aufgefüllt. In diesem Fall wurde wiederum Baggergut aus dem Spülfeld Drigge verwendet. Der Boden wurde lagenweise eingebaut und verdichtet. Dabei operierten schwere Erdbaugeräte über einen längeren Zeitraum auf dem hinterfüllten Boden, siehe Bild 2.5.18. Optisch konnten dabei keinerlei Verschiebungen der Container erkannt werden. Fünf Tage später erfolgte nach zahlreichen Überfahrten auf dem hinterfüllten Boden eine nochmalige Vermessung des Dammes.

a) b)

Bild 2.5.18: a) Hinterfüllung des Dammbauwerks; b) Verdichtung und Befahren des hinterfüllten Bereichs

2.5.3.2 Auswertung und Erkenntnisse

In Bild 2.5.19 sind die Versuchsergebnisse dargestellt, indem die horizontale Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z aufgetragen ist. Die Anordnung der Schnitte und die Messpunkte sind zusätzlich im Anhang A.3 dokumentiert.

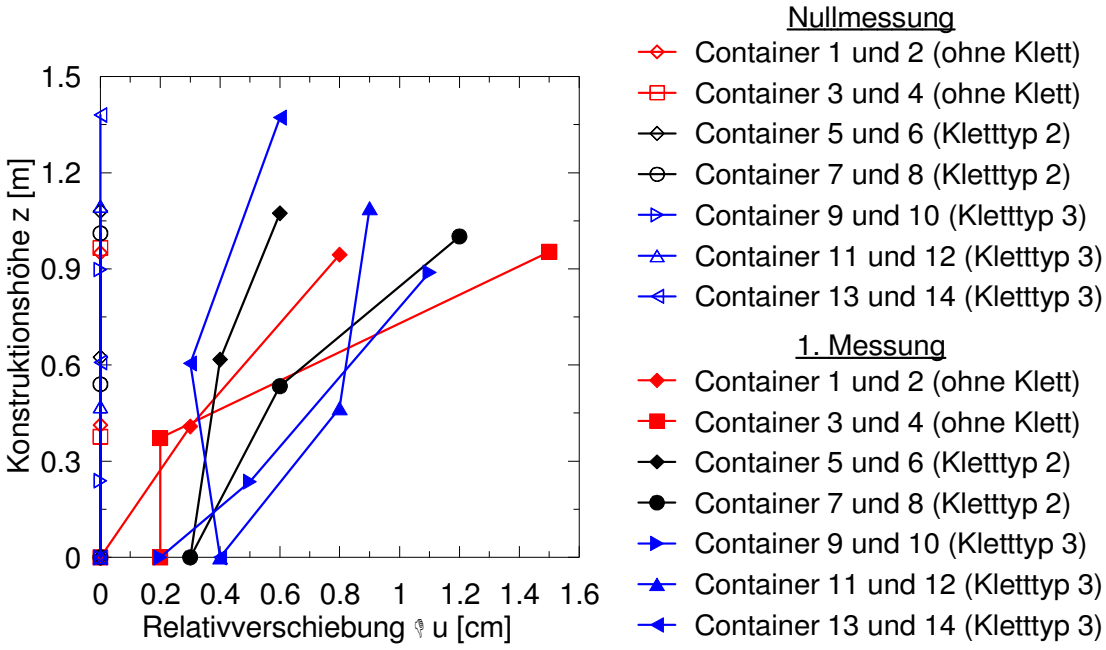

Konstruktionshöhe z [m]
1.5
1.2
0.9
0.6
0.3
0
0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6
Relativverschiebung u [cm]
Nullmessung
Container 1 und 2 (ohne Klett)
Container 3 und 4 (ohne Klett)
Container 5 und 6 (Kletttyp 2)
Container 7 und 8 (Kletttyp 2)
Container 9 und 10 (Kletttyp 3)
Container 11 und 12 (Kletttyp 3)
Container 13 und 14 (Kletttyp 3)
1. Messung
Container 1 und 2 (ohne Klett)
Container 3 und 4 (ohne Klett)
Container 5 und 6 (Kletttyp 2)
Container 7 und 8 (Kletttyp 2)
Container 9 und 10 (Kletttyp 3)
Container 11 und 12 (Kletttyp 3)
Container 13 und 14 (Kletttyp 3)

Bild 2.5.19.: Darstellung der horizontalen Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z für die untersuchten Container

Darin lässt sich nicht eindeutig ein Unterschied in der Verschiebung aufgrund der Verwendung eines Klettstreifens erkennen, jedoch lässt sich tendenziell erkennen, dass die größten Verschiebungen bei Containern ohne Klettstreifen und die kleinsten Verschiebungen bei Containern mit Klettstreifen auftreten. Ein Unterschied zwischen Klettstreifentyp 2 und 3 lässt sich nicht eindeutig belegen.

2.5.4 Anwendung im Erdbau[6]

2.5.4.1 Versuchsdurchführung

Dieser Feldversuch wurde von der WITTFELD GmbH durchgeführt. Es wurden verschiedene Einsatzszenarien betrachtet, so z.B. im Rahmen einer Baumaßnahme im Hamburger Hafen. Hier war die Herstellung einer mit Containern gestützten Rampe als temporäre Zufahrt für den Baustellenverkehr geplant. Leider konnten die betrachteten Einsatzszenarien innerhalb einer laufenden Baumaßnahme aus terminlichen

[6] Abschnitt 2.5.4 wurde maßgeblich durch die Fa. WITTFELD GmbH unter Einbeziehung der Universität Kassel, Fachgebiet Geotechnik erarbeitet

Zwängen der Baustelle und aufgrund von Witterungseinflüssen nicht umgesetzt werden.

Zur Realisierung eines Probeeinbaus der Container wurde schließlich in der Zeit vom 18.05. bis zum 20.05.2009 im Steinbruch der DIMAC GmbH in Hesseln bei Halle (Nordrhein-Westfalen) eine Stützwand aus Containern aufgebaut und ein Belastungsversuch durchgeführt.

Die Stützkonstruktion wurde zur Hälfte aus Containern mit Klettstreifen (Klettstreifentyp 2) und zur Hälfte aus Containern ohne Klettstreifen hergestellt, siehe Bild 2.5.20.

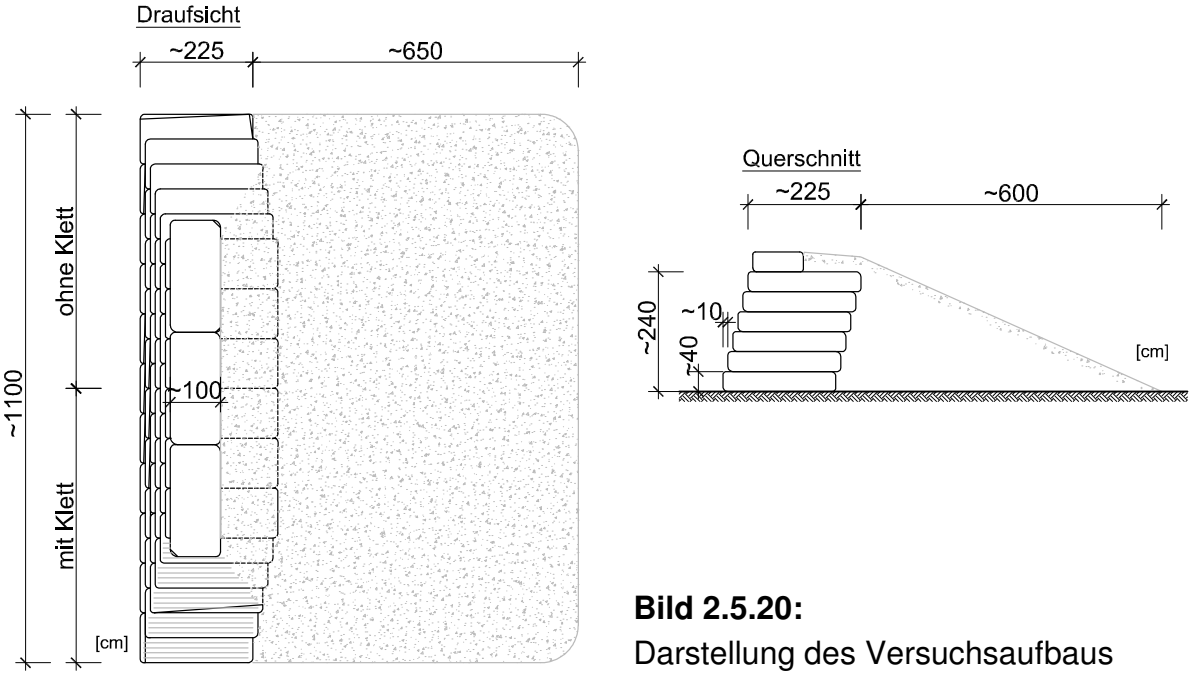


Bild 2.5.20:
Darstellung des Versuchsaufbaus

Das Aufbringen der Belastung erfolgte durch Befahren der angeschütteten Rampe mit einem beladenen Radlader, d.h. die Belastung auf die Stützkonstruktion erfolgte zum einen durch das Gesamtgewicht und zum anderen durch die dynamischen Einwirkungen (Bremskräfte) des Radladers.

Aufgrund der relativ geringen Anzahl der zu befüllenden Container wurde eine einfache Klemmvorrichtung zum Aufspannen der Container verwendet. Der leere Container wurde mit der Klemmvorrichtung an der Gabel eines Radladers befestigt und anschließend mit Hilfe eines Baggers befüllt, siehe Bild 2.5.21. Die befüllten Container wurden an der Stelle des Befüllens senkrecht stehend belassen.

a)

b)

c)

Bild 2.5.21:
Befüllen der Container; a) Detailansicht Klemmvorrichtung; b) Klemmvorrichtung an der Gabel eines Radladers; c) Füllvorgang mittels Bagger

Die Container wurden mit einem nichtbindigen Boden zu ca. 80 % gefüllt. In Bild 2.5.22 ist die Kornverteilungskurve des verwendeten Füllmaterials dargestellt.

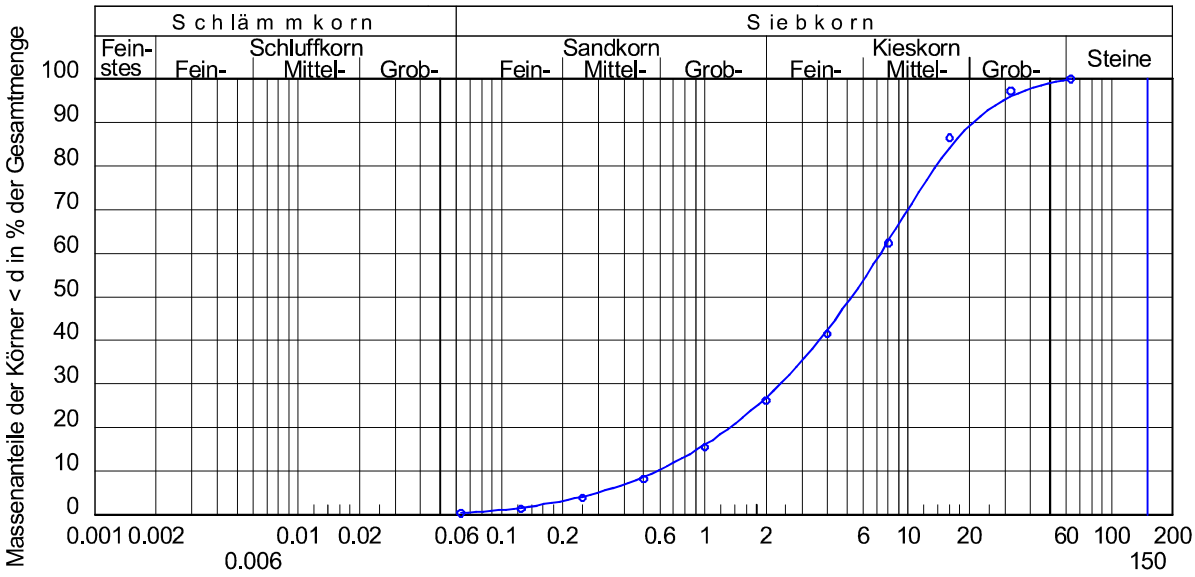


Bild 2.5.22: Kornverteilungskurve nach *DIN 18123* für das verwendete Füllmaterial

Die befüllten Container wurden anschließend mit einer Industrienähmaschine (Typ 2200 AS) an der Oberseite verschlossen. Zum Transportieren und Verlegen der Container wurde eine Baggergreiferschaufel derart modifiziert, dass ein schadloses Umgreifen der Container ermöglicht wurde, siehe Bild 2.5.23. Für den Transport wurden zunächst die senkrecht stehenden Container in eine horizontale Lage umgekippt und anschließend mit der Greiferkonstruktion aufgenommen.

Das Transportieren der fertigen Container zur Einbaustelle erfolgte mit einem Mobilbagger. Mit Hilfe der Greiferkonstruktion wurden die Container verlegt, dabei wurden die Container aus einer geringen Höhe (ca. 0,5 m) in die endgültige Position fallen gelassen und anschließend durch leichtes Anpressen in die richtige Position gebracht, siehe Bild 2.5.23.

Auf diese Weise wurde die Stützkonstruktion Lage für Lage aufgebaut. Hinter der Stützkonstruktion wurde anschließend lagenweise eine Rampe aus dem ebenfalls für die Container benutzten Füllmaterial angeschüttet und verdichtet. Die Rampe wurde bis an die Oberkante der obersten Lage der Container angeschüttet und verdichtet, siehe Bild 2.5.24.

a)

b)

c)

d)

Bild 2.5.23: Bau der Stützkonstruktion;
a) Verlegen der Container;
b) Anpressen der Container;
c) Lagenweiser Aufbau;
d) letzte Lage um 90° gedreht angeordnet

Nach der Fertigstellung der Stützkonstruktion und der Anschüttung der Rampe wurden drei Messquerschnitte, jeweils am linken und rechten Rand sowie in der Mitte festgelegt und Messpunkte gesetzt. Im Anhang A.3 sind die Schnitte dokumentiert.

Zur Erfassung der Verschiebungen wurde jeder Messpunkt in Lage und Höhe gemessen. Die Nullmessung wurde unmittelbar nach der Fertigstellung der Konstruktion und dem Setzen der Messpunkte durchgeführt, siehe Anhang A.3.

Bild 2.5.24:
Dokumentation der Errichtung der Rampe hinter der Stützkonstruktion

Nach einer Liegezeit von rd. 2 Monaten wurde vor der Belastung eine weitere Messung durchgeführt. Anschließend wurde in zwei Stufen die Belastung durch Befahren der Rampe mit einem beladenen Radlader (Gesamtgewicht ca. 25 to) aufgebracht, siehe Bild 2.5.25.

Bild 2.5.25: Belastung der Stützkonstruktion mittels Radlader

2.5.4.2 Auswertung und Erkenntnisse

Bild 2.5.26 zeigt die horizontale Relativverschiebung Δu der untersuchten Schnitte über die Konstruktionshöhe z. Die Anordnung der Schnitte und die Messpunkte sind im Anhang A.3 dokumentiert.

Die Konstruktion zeigt darin ein deutliches Verschieben der oberen Schichten. Die unteren Schichten haben sich um ca. 2 cm verschoben. Allerdings ist kein signifikanter Unterschied in der Verwendung eines Klettstreifens erkennbar.

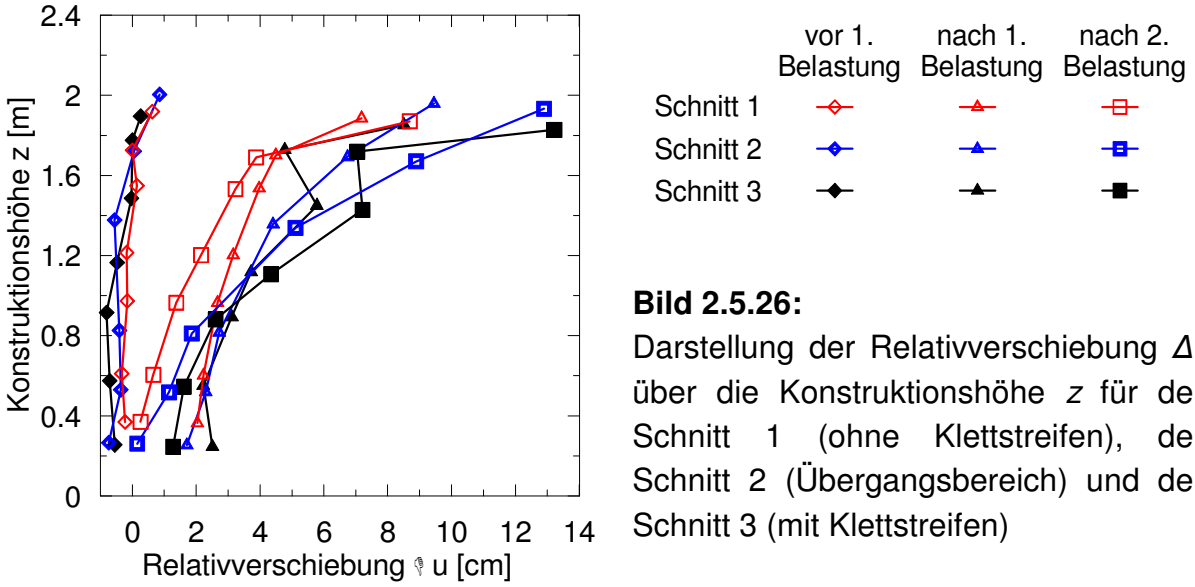


Bild 2.5.26:
Darstellung der Relativverschiebung Δu über die Konstruktionshöhe z für den Schnitt 1 (ohne Klettstreifen), den Schnitt 2 (Übergangsbereich) und den Schnitt 3 (mit Klettstreifen)

Die Erfahrungen während des Einbaus der Container, können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die beschriebene, einfache Klemmvorrichtung an der Gabel eines Radladers zum Befüllen der Container hat sich gut bewährt. Dennoch war das anschließende Befüllen mittels Baggerschaufel ein relativ langsamer Vorgang. Wenn allerdings keine Füllanlage zur Verfügung steht, wäre dies eine wirtschaftliche Alternative. Das Verlegen der befüllten und verschlossenen Container mit Hilfe der modifizierten Greiferkonstruktion verlief problemlos. Insbesondere durch das Andrücken der Container nach dem Ablegen konnte eine formstabile Stützkonstruktion errichtet werden. Allerdings zeigte sich auch, dass das Einhalten einer bestimmten Geometrie bzw. eines bestimmten Neigungswinkels der Stützkonstruktion aufgrund der doch relativ großen Verformungen der Container nur mit Einschränkungen realisierbar war.

- Die im Stehen an der Radlagergabel angeklemmten und befüllten Container konnten nicht senkrecht hängend transportiert bzw. angehoben werden, da aufgrund des Eigengewichtes zu hohe Dehnungen im Vliesstoff auftreten. Beim Versuch die

Container auf diese Weise zu verfahren, wurde der Vliesstoff extrem in Längsrichtung gedehnt, ohne dass der Container angehoben werden konnte. Bei den Containern mit Klettstreifen würde bei diesem Verfahren der Klettstreifen vom Vliesstoff abreißen, da sich das Material des Klettstreifens erheblich steifer als der Vliesstoff verhält.

- Im Zuge des Verschließens, d.h. des Nähens, der befüllten Container mit einer geeigneten Handnähmaschine zeigte sich, dass bei den Containern mit Klettstreifen der Klettstreifen selbst ein Hindernis beim Nähen darstellt. Aufgrund der Härte und Steifigkeit des Klettstreifens riss häufig der Faden an diesen Stellen ab. Die Container ohne Klettstreifen ließen sich hingegen relativ einfach verschließen.

2.5.5 Zusammenfassung der Feldversuche

Zusammenfassend kann für die Feldversuche gesagt werden, dass die Wirksamkeit des Klettstreifens bei den hier durchgeführten Feldversuchen nicht eindeutig nachgewiesen wurde. Da die Wirksamkeit jedoch im Modellversuch eindeutig belegt werden konnte, ist es wahrscheinlich, dass bei den gegebenen Randbedingungen die Belastungen für einen signifikant auftretenden Unterschied deutlich zu gering waren. Des Weiteren sind beim Einbau der Container auch Verunreinigungen aufgetreten, wodurch sich der verbundsteigernde Effekt verringerte. Ebenfalls ist nicht auszuschließen, dass der Maßstabseffekt einen Einfluss auf das Tragverhalten hat. So verhielt sich der Container mit Klettstreifen im Modellversuch steifer als der Container mit Klettstreifen auf der Baustelle. Aufgrund der positiven Erfahrungen in den Modellversuchen wird erwartet, dass kleinere Container mit Klettstreifen als Sofortmaßnahmen im Katastrophenfall (z. B. als Hochwasserschutz) erfolgreich angewendet werden können.

3 Auswertung und Zusammenfassung

- Es wurden mehrere Prinziplösungen für innovative Geotextilien mit klettenden Eigenschaften erarbeitet und in ersten Praxistests untersucht. Die Komponenten der Klettverbindung haften nach dem Prinzip „Klettverschluss“ aneinander.

  Ausgangspunkt waren folgende textile Verfahren:

  - Wirktechnik mit Vliesstoffzuführung:
    - Kombination von Vliesstoff mit aus Klettfolie geschnittenen Klettfäden;
    - Kombination mit weiteren Elementen wie zugfesten Geogittern oder anderen Materialien.
  - Rundweben:

    Herstellung schlauchförmiger Textilien (Einsparung von Konfektionsaufwand) bei Integration beider Komponenten der Klettverbindung sowie Last aufnehmender Strukturelemente; bei der Anwendung textiler Schläuche aus Rundgewebe wurde die Kombination von Flausch- (z. B. Vliesstofffäden) und Klettelementen (z. B Fäden aus Micrplast®-Klettfolie) genutzt.

- Vliesstoffentwicklung
  - Um eine entsprechende Festigkeit und Dehnfähigkeit der klettfähigen geotextilen Container beim Einbau zu gewährleisten, ergibt sich in Auswertung der Versuche und der Feldtests eine flächenbezogene Masse des Vliesstoffes von mindestens 500 g/m² und eine Mindest-Dehnbarkeit des Verbundes von ca. 30% als günstigste Variante.
  - Eine Vliesstoffvariante mit besonders flauschiger Klettseite (erreicht durch weniger intensive Vernadelung) hat sich in den Praxisversuchen nicht bewährt (verringerte Festigkeit auf Grund der dadurch nicht über den gesamten Querschnitt tragenden Fasern).
- Klettfäden
  - Es wurden mehrere Varianten von Klettmaterial untersucht. Als am günstigsten erwies sich ein möglichst flexibles Klettband (z. B. Binder Microplast® 25443 aus PA) mit höherer Dichte der Klettelemente. Durch die hexagonale Pilzform ist der Kletteffekt nicht richtungsabhängig.
  - Versuchsmaterial mit beidseitiger Anordnung von Klettelementen („back-to-back“) brachte erhebliche Vorteile hinsichtlich des Haftvermögens auch auf der Grundware des Containers, auf den das Klettband aufgenäht war, Versuchsmaterial mit beidseitiger Anordnung von Klettelementen („back-to-back“) brachte erhebliche Vorteile hinsichtlich des Haftvermögens auch auf der Grundware des Containers, auf den das Klettband aufgenäht war, stand aber zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung noch nicht in größeren Mengen zur Verfügung. Es soll jedoch zukünftig auf dem Markt angeboten werden.
  - Da das Material nur als Breitfolie vorliegt, wurde diese mithilfe einer Schneideinrichtung zu Klettstreifen geschnitten und zwei unterschiedliche Schneideinrichtungen untersucht:
    - Messerbalken
    - Messerwalzen / Rundmesser

- Für Microplast®-Folien erwiesen sich Messerbalken mit Klingen als gut geeignet. Bei größeren Foliedicken ist von Vorteil, wenn der Messerbalken eine gewisse Schwingbewegung in Umfangsrichtung ausführt (Ausweichen der Folie vermindert).

- Wirktechnologie Vliesraschelmaschine RS3 MSUS-V

  - Es wurden Vorversuche mit Vliesstoffvarianten im Flächenmassebereich von 150 bis ca. 600 g/m² (Fa. Naue) durchgeführt. Auf der Vliesraschelmaschine RS3 MSUS-V sind nur Vliesdicken von weniger als 5 mm verarbeitbar, Deshalb konnten vernadelte Vliesstoffe ≥600 g/m² auf dieser Maschine nicht verarbeitet werden.
  - Aus diesem Grund wurden weitere Versuche auf einer Spezialwirkmaschine konzipiert. Diese Maschine besitzt eine speziell entwickelte Nadel („Steppmaschine“, der Verarbeitungsprozess entspricht technisch einer modifizierten, extrem groben Nähwirktechnologie).

- Spezial-Nähwirkmaschine (Steppmaschine)

  - Diese Maschine besitzt einen veränderten Nadelkopf. Trotzdem kam es auf Grund des festen Faserverbundes bei der von den Anwendern bevorzugten Vliesstoffvariante (≥ 600 g/m², fest vernadelt) ebenfalls zu Verarbeitungsschwierigkeiten, so dass weitere Versuche auf einer Nähwirkmaschine vorgesehen wurden.
  - Auf Grund des hohen Aufwandes wurden an der Steppmaschine im Projekt keine Umbauarbeiten vorgenommen. Es wird eingeschätzt, dass mit feineren Nadeln, einem leistungsfähigeren Motor sowie anderem Getriebe verbesserte Ergebnisse erreicht werden können. Derartige Untersuchungen sollten Inhalt von Folgearbeiten sein.

- Nähwirkmaschine Typ Malimo

  - In den Versuchen wurde die Eignung dieser Technologie nachgewiesen und die maschinellen und technologischen Voraussetzungen durch Bau von Zusatzeinrichtungen angepasst. Das betrifft insbesondere Einrichtungen zur Zuführung des Vliesstoffs, der Masche bildenden Fäden und der Klettbändchen. Die Maschine wurde mit speziellen Exzentern ausgestattet sowie ein geeigneter Nadeltyp ermittelt. In den Versuchen wurden Maschineneinstellungen, Grundfadenmaterial sowie die Bindung zum Fixieren der Klettstreifen auf dem Vliesstoff variiert (Trikotlegung, durch Fransefaden beidseitig abgebunden; Aufnähen breiterer Microplast®-Folie mit Fransefäden).
  - Die Fadenlänge pro Masche muss mit genügend Dehnungsreserve eingestellt werden, um das Reißen des Fadens unter Dehnungsbelastung (30%) im Gebrauch zu vermeiden. Bei der optimierten Variante erreichte zuerst der Vliesstoff seine Belastungsgrenze. Das verwendete Microplast®-Klettmaterial wies einen Wert von etwa 300 % Bruchdehnung auf.

- Rundweben

  - Für die Versuche wurde eine Rundwebmaschine Typ KCL 4085/2 der Firma Karl Mayer Malimo unter Ausführung einer Reihe von Modifizierungen ge-

nutzt. Das betraf vor allem die Fadenleitelemente (Walzen, Kompensatorfedern, Webblättern) und insbesondere die Webschützen:

- Spulengatter: Einsatz von Tänzern (Fadenspannungsregulierung) mit vergrößertem Biegeradius am Kopf
- Einbau von größeren Fadenführerösen im Fadenkamm
- Einbau breiterer Webblätter veränderter Weblitzen und Fadeneinleger
- Die Webschützen sind bei der Standardausführung der Maschine nicht auf Sondermaterialien ausgelegt. Modifizierungen verbesserten die Leichtgängigkeit der Schützenräder durch Veränderung der Kugellager und schonenderes Überrollen der Kettfäden durch Vulkollan-Belag der Härte 65° Shore A.
- Die Microplast®-Bändchen waren in allen Versuchen ohne Probleme verarbeitbar. Verdrehungen traten auf Grund der Verwendung geeigneter Fadenführungseinrichtungen nicht auf.
- Bei Verwendung eines texturierten Polypropylen-Fadens im Schuss als flauschiger Anteil entstand in Verbindung mit Klettbändchen in der Kette ein Schlauchgewebe, das die gewünschten Eigenschaften in hohem Maß besitzt. Es wird eingeschätzt, dass mit dieser Materialzusammenstellung das gewünschte Gewebe wirtschaftlich herstellbar ist.
- Auf Grund der maschinenspezifischen Gegebenheiten der Rundwebmaschine (max. Breite des Schlauchgewebes 85cm doppelt flachgelegt) ist es unwirtschaftlich und wegen einer Dehnung des Gewebes längs und quer von unter 30 % auch funktional ungünstig, diese Kleincontainer im Unterwasserbau einzusetzen. Erfolgversprechendere Anwendungsgebiete liegen in den Bereichen Böschungs- bzw. Erdbau, Hochwasserschutz und Sandsackbarrieren. Dort werden vorwiegend Säcke mit einer Breite doppeltflachgelegt von 30 bis 40 cm eingesetzt.
- Nach Abschluss des Projektes ist in Weiterführung der Arbeiten geplant, entsprechende Demonstratoren für die o. g. Anwendungen zu fertigen, potenziellen Partnern (Feuerwehr, Katastrophenschutzeinrichtungen, Flussbaubetriebe u. ä.) für Testzwecke zur Verfügung zu stellen und weitere Optimierungsarbeiten anzuschließen.

- Zuschnitt- und Konfektionstechnologie

- Die Maschinentechnik wurde an die besonderen Bedingungen der Herstellung von klettfähigen geotextilen Container angepasst durch
  - Umbau des Kreismessers auf Ein- Mann- Bedienung
  - Ersatz von Baugruppen an der Nähmaschine
  - Bau eines Zuschneidetischs zum Ablängen und Zusammenschlagen der Teile sowie einer Vorrichtung zum Herstellen maßgerechter, kantengerader Teile mit einem Rundmesser
  - Konzipierung einer geeigneten Zuschneidetechnologie (insbesondere spannungsloses Ablängen); damit wurde ein Warenschrumpf nach

dem Zuschnitt von - je nach Vorspannung - bis zu 10% ausgeglichen (Ursache: Aufwicklung an der Nähwirkmaschine unter Spannung).

- Untersuchungen zu verschiedenen Nahtformen und Nähmaschinentypen

- Ungünstig auf die Naht wirkten sich Schwankungen der Materialdicke des Vliesstoffes auf die Gleichmäßigkeit der Nahtränder aus. Es ist notwendig, dass die Vliesstoffdicke nicht zu stark schwankt, insbesondere dass in jedem Fall eine ausreichende Festigkeit eingehalten wird.
- Die Enden der Wirkfäden der Franse-Bindung, mit denen die Klettstreifen auf dem Vliesstoff eingebunden waren, sollten durch Verkleben gesichert werden.

- Geotechnik - Theoretische, experimentelle und numerische Untersuchungen zum Tragverhalten von geotextilen Containern

  - Aus Laboruntersuchungen ergab sich bei gleicher Auflast ein signifikanter Unterschied in der maximal übertragbaren Scherspannung. Das heißt, Klettstreifen tragen zur Erhöhung der Tragfähigkeit bei. Die Quantifizierung dieser Zunahme hängt wesentlich vom verwendeten Klettstreifentypen ab.
  - Mit den Klettstreifentypen 3 und 6 wurde eine deutliche Erhöhung der Scherfestigkeit erzielt, wobei die Ergebnisse mit dem doppelseitigen Klettstreifentyp 6 signifikant über denen Klettstreifentyp 3 liegen. (Typ 3: 342 Klettelemente/cm² = höchste Anzahl in den Versuchen, flexibel; Typ 6: doppelseitig klettend, hohe Anzahl von 288 Klettelemente/cm² pro Seite)

    Der Klettstreifentyp 6 ist beim Herstellerbetrieb noch in Entwicklung und stand erst kurz vor Ablauf des Forschungsprojektes zur Verfügung. Daher waren aus zeitlichen Gründen ausgiebige Tests nicht mehr möglich.
  - Die Tragfähigkeitserhöhung auf Grund der Verwendung von Klettstreifen wurde durch Untersuchungen an einer Stützkonstruktion aus Containern in kleinmaßstäblichen Modellversuchen bestätigt. Die Ergebnisse zeigen, dass unter Verwendung von Klettstreifen die Stützkonstruktion aus Containern annähernd ein monolithisches Verformungsverhalten aufweist. Im Gegensatz dazu konnte im Modellversuch ohne Klettstreifen ein deutliches Abscheren zwischen den untersten Containerlagen erkannt werden, welches die hohen Relativverschiebungen einzelner Lagen zeigen.
  - Bei Vliesstoffvarianten mit sehr flauschiger Oberfläche trat ein Aufreißen der oberen Schicht bei Scherversuchen mit aufgenähten Klettstreifen auf. Mit Hilfe eines Brushed-Loop-Materials, das auf das vernadelte Vlies aufgenäht wurde, konnte dieses Ausreißen der Fasern verringert werden, es war jedoch keine deutliche Tragfähigkeitserhöhung im Vergleich zu den flauschigen und vernadelten Vliesen erkennbar.
  - Die untersuchten Gewebe erzielten bei dem gewählten Materialeinsatz eine geringere Tragfähigkeit als die Vliesstoffe. Generell sind Gewebe nur für kleinere Container geeignet, da Gewebe eine deutlich geringere Bruchdehnung aufweisen als Vliesstoffe. Container aus Geweben können somit bei stoßartigen Belastungen schneller platzen als Container aus Vliesstoff. Dennoch ist unter Verwendung von Klettstreifen eine Zunahme der Tragfähigkeit möglich.

Eine mögliche Anwendung für Gewebe mit Klettstreifen wird insbesondere in der Verwendung von kleinen Sandsäcken im Katastrophenschutz gesehen.

- Generell wurde festgestellt, dass durch die Verwendung von Klettstreifen eine höhere Scherspannung möglich ist. Der Klettstreifentyp hat einen deutlichen Einfluss auf das Ergebnis. Unabhängig vom Klettstreifentyp wird eine Verschiebung von ca. 1 cm benötigt, bis der Klettstreifen seine Wirksamkeit zeigt. Es wird ausgegangen, dass sich die Fasern des Vlieses ausrichten, bevor sie sich in den Klettstreifen verhaken.
- Durch mehrmaliges Verhaken der Klettstreifen mit der Vliesstoffoberfläche tritt ein Tragfähigkeitsverlust ein. Deshalb wird empfohlen, darauf zu achten, dass ein Kontakt der Klettstreifen vor Erreichen der endgültigen Liegeposition mit anderen Containern möglichst vermieden wird.
- Es lässt sich deutlich erkennen, dass im gesättigten Zustand im Vergleich zur trockenen Probe sowohl ohne als auch unter Verwendung von Klettstreifen eine geringere Scherspannung mobilisierbar ist. Die Gründe dafür werden darin gesehen, dass sich die Synthesefasern des Vliesstoffes in nassem Zustand schlechter mit dem Klettstreifen verbinden.
- In den Versuchen wurde kein Einfluss der Orientierung des Klettstreifens auf den Containern auf die maximal übertragbare Scherspannung ermittelt.
- Aus den vorliegenden Ergebnissen der kleinmaßstäblichen Versuche sowie der Feldversuche kann bei einer Klettstreifenbreite von 5 bis 10 mm ein Abstand zwischen den Klettstreifen von ca. 15 cm empfohlen werden.
- Durch einen vorzeitigen Kontakt der Klettstreifen mit anderen Containern tritt ein deutlicher Tragfähigkeitsverlust ein, da die Klettstreifen beim Trennen der Container einzelne Fasern ausreißen. Diese setzen sich dann in die Klettstreifen und vermindern die Effektivität. Das wurde auch im ersten Feldversuch beobachtet. Bei der Weiterführung der Arbeiten ist noch an einer verbesserten Lösung dieses Problems zu arbeiten.
- Verunreinigungen führen zu einem deutlichen Verlust der Tragfähigkeit. Der tragfähigkeitssteigernde Effekt der Klettstreifen kann dadurch wirkungslos werden. Der Sättigungsgrad hat bei vorhandener Verunreinigung nur einen geringen Einfluss.
- Anhand einer FEM Analyse war eine Abbildung der durchgeführten Modellversuche und eine weitergehende Untersuchung möglich. Dennoch mussten einige Vereinfachungen vorgenommen werden, bei denen zum Teil physikalisch nicht nachvollziehbare Annahmen getroffen werden mussten. In zukünftigen Untersuchungen sollte primär die Modellierung der Container und das Verbundverhalten einer weiterführenden Bearbeitung unterzogen werden.
- Es wird empfohlen, die numerische Berechnung vergleichend bei der Dimensionierung von Bauwerken aus geotextilen Containern anzuwenden, um damit weitere Erfahrungswerte zu sammeln.
- Es wurden drei Feldversuche in den Bereichen Binnenwasserbau, Küstenschutz und Erdbau durchgeführt. Das Befüllen der Container und das Vernähen der Füllöffnung bereiteten keine Probleme. Der Verschleiß der Nähma-

schinen und der Bruch von Nähnadeln bewegten sich im bekannten üblichen Rahmen. Die Praxistauglichkeit der geotextilen Container mit Klettstreifen muss noch verbessert werden, da diese auf Grund der sich verringernden Klettwirkung bei Stapelung mit gegenseitigem Kontakt nicht per Schiff im gefüllten Zustand zum Einbauort transportiert werden können. Das Abdecken einzelner Container (oder Containerlagen) zum Schutz der Klettstreifen durch Folien etc. ist möglich, dadurch entsteht jedoch eine Müllproblematik.

- Vorteile für geotextile Container mit Klettstreifen werden gesehen, wenn diese direkt nach dem Füllvorgang ohne Transportwege eingebaut werden können.
- Von der Fa. Hirdes wurde eine Füll– und Zwischenlagertechnologie erarbeitetet, von der erwartet wird, dass diese Anlage insbesondere bei großen Stückzahlen zu befüllender Container eine hohe Effektivität erreichen wird.
- Für den zweiten Feldtest (Wasserbau mit Tideeinfluss) wurden auf Grund der Ergebnisse des Feldversuchs der Firma Colcrete - von Essen optimierte Container eingesetzt (Klettstreifen aus PA und veränderte, höher dehnbare Maschenbindung für das Befestigen der Klettstreifen auf dem Vliesstoff). Das Verhalten dieser Container wird als deutlich besser eingeschätzt. Die Dehnung des Containers lag bei ca. 55 %. Im Füll-, Zwischenlager- und Einbauprozess waren keine extremen Unterschiede zwischen den Containern mit Klettstreifen und denen ohne Klettstreifen erkennbar. Jedoch erwies sich der Container mit diesem Klettstreifentyp als wesentlich robuster, eine sehr wichtige Eigenschaft für Baustellenverwendungen. Es sind auf einigen Baustellen auch mehrfache Verwendungen der Container für temporäre Maßnahmen denkbar. Hierzu müssen allerdings noch Lösungen gefunden werden, bei denen der Klettstreifen nicht nach Kontakt mit anderen Containern signifikant an Klettwirkung verliert.
- Es ließ sich aus den Messwerten kein eindeutiger Unterschied in der Verschiebung durch die Verwendung von Klettstreifen erkennen, jedoch lässt sich tendenziell einschätzen, dass die größten Verschiebungen bei Containern ohne Klettstreifen und die kleinsten Verschiebungen bei Containern mit Klettstreifen auftreten.
- Zusammenfassend kann für die hier durchgeführten Feldversuche gesagt werden, dass die Wirksamkeit des Klettstreifens nicht eindeutig nachgewiesen wurde. Da diese Wirksamkeit jedoch im Modellversuch eindeutig belegt werden konnte, ist es wahrscheinlich, dass bei den gegebenen Randbedingungen der Praxisversuche die Belastungen für einen signifikant auftretenden Unterschied deutlich zu gering waren. Des Weiteren sind beim Einbau der Container auch Verunreinigungen aufgetreten, wodurch sich der verbundsteigernde Effekt verringerte. Ebenfalls ist nicht auszuschließen, dass der Maßstabseffekt einen Einfluss auf das Tragverhalten hat. So verhielt sich der Container mit Klettstreifen im Modellversuch steifer als der Container mit Klettstreifen auf der Baustelle im Maßstab 1:1. Auf Grund der positiven Erfahrungen in den Modellversuchen wird erwartet, dass kleinere Container mit Klettstreifen als Sofortmaßnahmen im Katastrophenfall (z. B. als Hochwasserschutz) erfolgreich angewendet werden können.

4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Untersuchungen ergaben, dass durch den im Herstellungsprozess (Wirk- oder Rundwebtechnik) erzeugten Verbund von Vliesstoff / Textil mit flauschiger Oberfläche und Klettfäden eine Verbesserung der Hafteigenschaften der Container untereinander erreicht werden kann. Die Laboruntersuchungen zeigten eine signifikante Tragfähigkeitserhöhung bei geotextilen Containern mit Klettstreifen. Dies wurde durch die Ergebnisse an einer Stützkonstruktion aus Containern in kleinmaßstäblichen Modellversuchen bestätigt Die Feldtests zeigten aber auch, dass verschiedene weitere Einflüsse auf der Baustelle die Haftwirkung der vorliegenden Klettverbindung aus dem speziell verwendeten Vliesstoff- und Klettmaterial vermindern. Es wurde herausgearbeitet, welche Probleme noch gelöst werden müssen, bevor eine umfangreiche Nutzung vor allem für großformatige geotextile Container erfolgen kann. Insbesondere bieten die Ergebnisse die Grundlage, in Nachfolgeuntersuchungen die Erkenntnisse zu erweitern u nd zu präzisieren. Auf jeden Fall ist eine Verwertbarkeit der Ergebnisse für erfolgreiche Teillösungen gegeben.

Durch das Forschungsprojekt wurden Arbeiten zur Weiterentwicklung einer doppelseitigen Klettfolie angeregt. So sollte dieses zukünftig verfügbare Back-to-Back-Material (Klettstreifentyp 6) auf Grund seiner guten Ergebnisse nach Abschluss der Entwicklungsarbeiten beim Hersteller in Anschlussarbeiten untersucht werden. Es gibt Vorstellungen bei den Projektpartnern, ein derartiges Material für weitere Anwendungen in der Geotechnik zu nutzen.

Für die textilen Hersteller und die Maschinenbauer von Wirk- und Rundwebtechnik wurde mit den Forschungsarbeiten zur Entwicklung neuartiger Vliesstoffverbunde eine wesentliche Grundlage hinsichtlich der Möglichkeit geschaffen, Vliesstoffverbunde und Gewebe mit Hafteigenschaften auszustatten.

Es wurde durch die Fa. Flexitex eine umgehend anwendbare Konfektionstechnologie erarbeitet, die für die Konfektionierung derartiger Geotextilien genutzt werden kann.

Bezüglich des Rundwebens ist nach Abschluss des Projektes vorgesehen, auf der Versuchsmaschine entsprechende Gewebe herzustellen, zu konfektionieren und interessierten Stellen wie Feuerwehren, Katastrophenschutzeinrichtungen und Flussbaubetrieben zur Begutachtung und zu Testzwecken anzubieten. Bei positiver Resonanz und wirtschaftlich vertretbarer Herstellung ist geplant, zur Realisierung dieser neuen Produktlinie einen Mitarbeiter neu einzustellen.

Bei einer zukünftigen Markteinführung eines weiter optimierten Materials (z. B. durch ein weiterentwickeltes Klettband) kann ein neues Produktfeld gefunden werden, bei dem Vliesstoffmaterial der Fa. NAUE eingesetzt und auf dem Markt verkauft werden kann.

Durch die Partner STFI e.V. und Universität Kassel sollen die Ergebnisse für weitere Forschungsarbeiten auf den Gebieten geotextiler Container genutzt werden. (Optimierung der Klettverbindung unter Nutzung von Neuentwicklungen der Klettfoliehersteller, neue Wege zur Vermeidung unerwünschten Klettens, Gestaltung der Container, Modellbildung, Berechnung u.a.).

Bei den Baubetrieben liegen verwertbare Ergebnisse zum Einbau von haftenden geotextilen Containern vor, die in der Praxis genutzt werden können. Voraussetzung

ist dabei die Lösung der angegebenen noch zu untersuchenden Probleme zum Kletteffekt, insbesondere im Zusammenhang mit den aussichtsreichen ersten Ergebnissen zu dem in Entwicklung befindlichen Klettstreifentyp.

Von den Baufirmen (insbesondere Fa. WITTFELD GmbH und Heinrich Hirdes GmbH) wurden neue Fülltechnologien entwickelt. Die durch die Fa. WITTFELD GmbH erarbeitete alternative Fülltechnik mit Hilfe eines Radladers ist wirtschaftlich effektiv für Bauobjekte, bei denen eine geringe Anzahl von Container eingebaut wird und sofort nutzbar. Die Anlage der Fa. Hirdes (beschieben in Abschnitt 2.5.3.1) wurde in den Investitionsplan aufgenommen und eine Entscheidungsgrundlage für die Geschäftsführung erarbeitet. Bei einem entsprechenden Bedarf für eine konkrete Baumaßnahme kann umgehend eine Bestellung ausgelöst werden.

Weiterhin werden die Ergebnisse des Projekts durch die Fa. KARL MAYER Malimo Textilmaschinenfabrik GmbH genutzt, die mit der Verarbeitung von Klettbändern auf Maschinen dieses Unternehmens für geotextile Container neue potenzielle Anwendungsfelder erschließen kann.

5 Während der Durchführung bekannt gewordene Fortschritte

Angeregt durch die Erkenntnisse der Projektarbeiten wird bei der Firma Binder daran gearbeitet, ein doppelseitiges Klettband weiterzuentwickeln und in die Produktpalette aufzunehmen. Es wird eingeschätzt, dass dadurch wesentliche Vorteile in der Klettfunktion der geotextilen Container erreicht werden können. In einer Weiterführung der Arbeiten sollte dies berücksichtigt werden.

Es wurden keine relevanten Publikationen bekannt.

6 Veröffentlichungen

- Lüking, J. / Kempfert, H.-G. (2009): Load Bearing Behaviour of Geotextile Containers Using Velcro Strips; Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: The Academia and Practice of Geotechnical Engineering; Alexandria (Egypt), 5–9 October 2009, Vol. 1, pp. 897-900

- Seeger, M., Helbig, R., Arnold, R. Erth, H.: Innovative technische Textilien, Übersichtsvortrag zur Fachtagung der Landessektion der IFWS Deutschland am 25. - 27. Mai 2008 in Annaberg/Sachsen

- STFI e.V., DEKRA / VDI Symposium 2009, Eurospeedway Lausitz, Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen, Begleitausstellung 8./9.10.2009, Vorstellung eines Modells zur Ladungssicherung mit klettfähigen Containern auf Lkws

Weitere Veröffentlichungen sind vorgesehen.

7 Literatur

[1] http://www.binder-gmbh.com/prod1.htm

[2] HEIBAUM, M. H., Geotechnical Parameters of Scouring and Scour Countermeasures, BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (FEDERAL WATERWAYS ENGINEERING AND RESEARCH INSTITUTE), Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 85 (2002)

[3] BEZUIJEN, A., KLEIN BRETELER, M., BERENDSEN, E., PILARCZYK, K.W., Model tests on geocontainers, placing accuracy and geotechnical aspects, Geosynthetics, State of the art, Recent developments, Seventh International Conference on Geosynthetics, Nice, France, 22 – 27 September 2002, Proceedings, p. 1001

[4] BEZUIJEN, A., Schrijver, R.R., Breteler, M. K., Berendsen, E., Pilarczyk, K. W., Field tests on geocontainers, Geosynthetics, State of the art, Recent developments, Seventh International Conference on Geosynthetics, Nice, France, 22 – 27 September 2002, Proceedings, p. 997

[5] HEIBAUM, M. H., Geosynthetic containers – a new field of application with nearly no limits Geosynthetics, State of the art, Recent developments, Seventh International Conference on Geosynthetics, Nice, France, 22 – 27 September 2002, Proceedings, p. 1013

[6] Wasserbau, Prospekt der Fa. Naue, 2004

[7] Terrafix Soft Rock®, im Küstenschutz, Prospekt Fa. Naue]

[8] HEERTEN, G.: Geotextilien im Wasserbau - Prüfung, Anwendung, Bewährung - Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft 52, 1981

[9] KOHLHASE, S.; Geokunststoffkörper im Küstenschutz, Tagungsband zum Geokunststoffkolloquium in Espelkamp, Naue Fasertechnik Lübbecke, Eigenverlag, 1999

[10] SAATHOFF, F., WITTE, J.: Geotextile Container im Wasserbau, Wasser & Boden, 47. Jahrgang, 09/1995

[11] NICKELS, H., HEERTEN, G.: Objektschutz Haus Kliffende, Hansa, 137. Jahrgang, Nr. 3, Schiffahrtsverlag, 2000

[12] Terrafix Soft Rock®, im Küstenschutz, Prospekt Fa. Naue]

[13] Weltrekord mit Terrafix®, 500 t Mega-Sandcontainer aus Terrafix® Vliesstoffen, Flyer, 2002 bei Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG, Lübbecke

[14] HEERTEN, G.; JACKSON, A.; RESTALL, S.; SAATHOFF, F.: New developments with mega sand containers of nonwoven needle-punched geotextiles for the construction of coastal structures, Int. Conference on Coastal Engineering 2000, Abstract Book, Sydney, Australia, 2000

[15] HEERTEN, G.; JACKSON, A.; RESTALL, S.; STELLJES, K.: Environmental benefits of sand filled geotetxile structures for coastal applications, Int. Conference on Geotechnical and geological Engineering, Melbourne, Australia, 2000

[16] Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG: Weltrekord mit Terrafix, Flyer zum Projekt “Künstliches Riff in Australien”, Eigenverlag, 2000

[17] STELLJES, K., SAATHOFF, F.; HEERTEN, G.: New applications with nonwoven geotextile sand containers for soft coastal structures. Int. Conference on new trends in water and environmental engineering 2000, Capri, Italy, Balkema Publishers, 2000

[18] OUMERACI, H., BLECK, M., HINZ, M., KÜBLER, S.: Großmaßstäbliche Untersuchungen zur hydraulischen Stabilität geotextiler Container unter Wellenbelastung, Bericht Nr. 878, Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Hydromechanik und Küsteningenieurwesen, TU Braunschweig, 2002

[19] FOWLER, J., DUKE, M., SCHMIDT, M.L., CRABTREE, B., BAGBY, R.M., TRAINER, E., Dewatering sewage sludge and hazardous sludge with geotextile tubes, Geosynthetics, State of the art, Recent developments, Seventh International Conference on Geosynthetics, Nice, France, 22 – 27 September 2002, Proceedings, p. 1007

[20] SAATHOFF, F., Geotextile sand containers in hydraulic and coastal engineering - German experiences, Geosynthetics, State of the art, Recent developments, Seventh International Conference on Geosynthetics, Nice, France, 22 – 27 September 2002, Proceedings, p. 1141

[21] YEE, T.W., Construction of underwater dykes using geotextile containment systems, Geosynthetics, State of the art, Recent developments, Seventh International Conference on Geosynthetics, Nice, France, 22 – 27 September 2002, Proceedings, p. 1161

[22] RAITHEL, M., KEMPFERT, H.-G., KIRCHNER, A., Geotextile-encased columns (GEC) for foundation of a dike on very soft soils, Geosynthetics, State of the art, Recent developments, Seventh International Conference on Geosynthetics, Nice, France, 22 – 27 September 2002, Proceedings, p 1025

[23] SEEGER, M., Schlauchtextilien für technische Anwendungen, Bericht 54/98, STFI 1998

[24] SEEGER, M., ARNOLD, R., MARTINI, J., KEMPFERT, H.-G., BÖHM, F., MATTHESS, J., BÖHME, G., Entwicklung von Bewehrungs- und Verankerungsdräns (Dochtdräns) aus textilem Abfallmaterial, vti-aktuell, 1/2004, S. 13, 14

[25] SEEGER, M., Grundlagenuntersuchungen Technische Textilien Der Forschungsbedarf für das nächste Jahrzehnt, Teilvorhaben 3: Textilien für den Bau- und Geosektor, Bericht 03I1810, STFI 2004

[26] EP 0 716 722 B1

[27] International Symposium „Tsunami Reconstruction with Geosynthetics – Protecton, Mitigation and Rehabilitation of Coastal and Waterways Erosion Control", 8-9 Dezember 2005, Bangkok, Thailand, http://www.geosyntheticssociety.org/Calendar/TsunamiSympBroch05.pdf

[28] PILARCZYK, K. (2001): Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic Engineering

[29] RECIO, J., OUMERACI, H., Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abt. Hydromechanik und Küsteningenieurwesen, Bericht 936, 04/2007

[30] GRÜNE, J., SPARBOOM, U., Untersuchungen am Großen Wellenkanal in Hannover vom Forschungszentrum Küste, 2006/2007

[31] WERTH, K.; KORTENHAUS, A. (2007): Geschüttete Wellenbrecher mit innovativem Kern aus geotextilen Sandcontainern 6. FZK – Kolloquium "Küstenschutz und Seebau" Hannover, 2007, FZK-Kolloquium

[32] RECIO, J.; OUMERACI, H. (2007): Einflussfaktoren zur Stabilität von Küstenbauwerken aus geotextilen Sandcontainern (GSC) 6. FZK – Kolloquium "Küstenschutz und Seebau" Hannover, 2007, FZK-Kolloquium

[33] GRÜNE, J.; SPARBOOM, U.; OUMERACI, H.; SCHMIDT-KOPPENHAGEN, R.; WANG, Z. (2007): Untersuchungen zur Stabilität von geotextilen Sandcontainern

unter Seegang und die Anwendung für den Kolkschutz von Tragkonstruktionen 6. FZK – Kolloquium "Küstenschutz und Seebau“ Hannover, 2007, FZK-Kolloquium

[34] OUMERACI, H.; HINZ, M.; BLECK, M.; KORTENHAUS, A. (2003): Sand-filled Geotextile Containers for Shore Protection. 3. International Coastal Structures Conference. Portland, Oregon, 2003

[35] Unterlagen Fa. Binder GmbH&Co. Textil- und Kunststofftechnik, Holzgerlingen

[36] Unterlagen Fa. Velcro GmbH

[37] betriebliche Unterlagen Fa. Flexitex

Literaturverzeichnis (Abschnitte 2.4 und 2.5)

BATHE, K.-J. (2002): Finite-Elemente-Methoden; 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York

BEZUIJEN, A., DE GROOT, M.B., KLEIN BRETELER, M., BERENDSEN, E. (2004): Placing accuracy and stability of geocontainers; Proceedings of the Third European Geosynthetics Conference, Munich, vol. 1, p. 123-128

BRINKGREVE, R. B. J. (Editor, 2003): PLAXIS, Version 8, Benutzerhandbuch; Technische Universität Delft & PLAXIS bv, Niederlande

CUDMANI, R. (2001): Statische, alternierende und dynamische Penetration in nichtbindigen Böden; Veröffentlichungen des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana in Karlsruhe, Heft 152

DIN EN ISO 12957-1: 2005: Geokunststoffe – Bestimmung der Reibungseigenschaften – Teil 1: Scherkastenversuch; Deutsches Institut für Normung, Berlin

DIN 18123: 1996-11: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korngrößenverteilung; Deutsches Institut für Normung, Berlin

DIN 18137-3: 2002-09: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Scherfestigkeit, Teil 3: Direkter Scherversuch; Deutsches Institut für Normung, Berlin

GDA (1997): GDA - Empfehlungen – Geotechnik der Deponien und Altlasten; 3. Auflage, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hrsg.), Ernst & Sohn, Berlin

HEERTEN, G., SAATHOFF, F., STELLJES, K. (2000): Geotextile Bauweisen ermöglichen neue Strategien im Küstenschutz; Geotechnik 23, Heft 2, S. 80-86

HEIBAUM, M. (2002): Geokunststoff-Container – ein neues und nahezu unbegrenztes Anwendungsgebiet; Geotechnik 25, Heft 4, S. 254-260

HEIBAUM, M., OBERHAGEMANN, K., FAISAL, M. A., HAQUE, S. (2008): Geotextile bags for sole permanent bank protection; Proceedings of the Fourth European Geosynthetics Conference, Edinburgh, United Kingdom

HEITZ, C. (2006): Bodengewölbe unter ruhender und nichtruhender Belastung bei Berücksichtigung von Bewehrungslagen aus Geogittern; Schriftenreihe Geotechnik, Universität Kassel, Heft 19

JACKSON, L.A., HORNSEY, W.P. (2002): An artificial reef to protect surfers paradise beach – developing and implementing the science; Geotechnical Fabrics Report 20, No. 4, p. 18-25

MCCLARTY, A., CROSS, J., JAMES, G. M., GILBERT, L. (2006): Design and construction of coastal erosion protection groynes using geocontainers, Langebaan, South Africa; Proceedings of the 8th International Conference on Geosynthetics, Yokohama (Japan)

OUMERACI, H., BLECK, M., HINZ, M., KÜBLER, S. (2002): Großmaßstäbliche Untersuchungen zur hydraulischen Stabilität geotextiler Sandcontainer unter Wellenbelastung; Bericht des Leichtweiß-Instituts der Technischen Universität Braunschweig, Nr. 878, Braunschweig, unveröffentlicht

PILARCZYK, K.W. (1997): Application and design aspects of geocontainers; Proceedings of the "Geosynthetics '97" North American Conference, Long Beach, California (USA), pp. 147-160

RECIO, J., OUMERACI, H (2005): Analyse der stabilitätsgefährdenden Prozesse von Deckwerken aus geotextilen Sandcontainern (GSC); Tagungsband 5. FZK Kolloquium Seegang, Küstenschutz und Offshorebauwerke, Hannover, S. 83-87

RESTALL, S. J., HORNSEY, W. P., OUMERACI, H., HINZ, M., SAATHOFF, F., WERTH, K. (2004): Australien & German experiences with geotextile containers for coastal protection; Proceedings of the Third European Geosynthetics Conference, Munich, vol. 1, p. 141-146

SAATHOFF, F., WITTE, J. (1994): Geotextile Sandcontainer zur Stabilisierung der Kolkböschungen; HANSA – Schifffahrt – Schiffbau – Hafen, 131, Heft 4, S. 69-71

STOEWAHSE, C. (2001): Ermittlung des Reibungsverhaltens von Geokunststoffen und Erdstoffen im Rahmenschergerät; Mitteilungen des Instituts für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau (IGBE) der Universität Hannover, Heft 56

VAID, Y. P., NEGUSSEY, D. (1984): Relative Density of Pluviated Sand Samples; Soils and Foundations, Vol. 24, No. 2, p. 101-105

WITZEL, M. (2004): Zur Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von vorgefertigten Verdrängungspfählen in bindigen und nichtbindigen Böden; Schriftenreihe Geotechnik, Universität Kassel, Heft 15

ZIENKIEWICZ, O. C. (1971): The Finite Element Method in Engineering Science; McGraw-Hill, London

Anlage Ergänzende Darstellung der Versuchsergebnisse[1]

Inhalt Seite

A.1 Rahmenscherversuche A1

A.2 Modellversuch zur Nachbildung einer Stützkonstruktion A14

A.3 Messergebnisse der Feldversuche A21

A.3.1 Anwendung im Binnenwasserbau A21

A.3.2 Anwendung im Küstenschutz A25

A.3.3 Anwendung im Erdbau A26

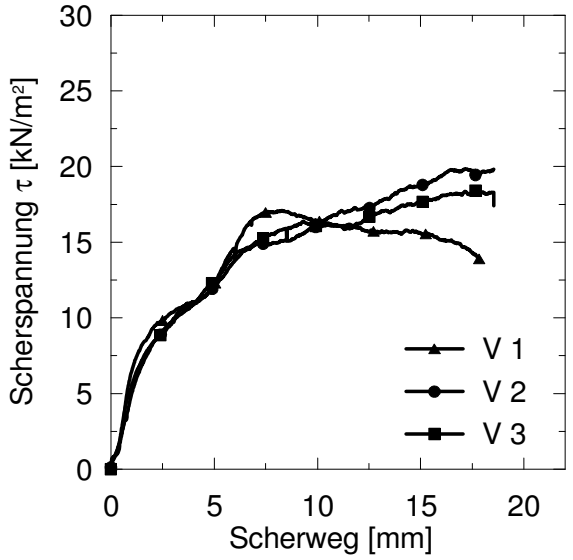
[1] Maßgeblich erarbeitet durch die Universität Kassel, Fachgebiet Geotechnik

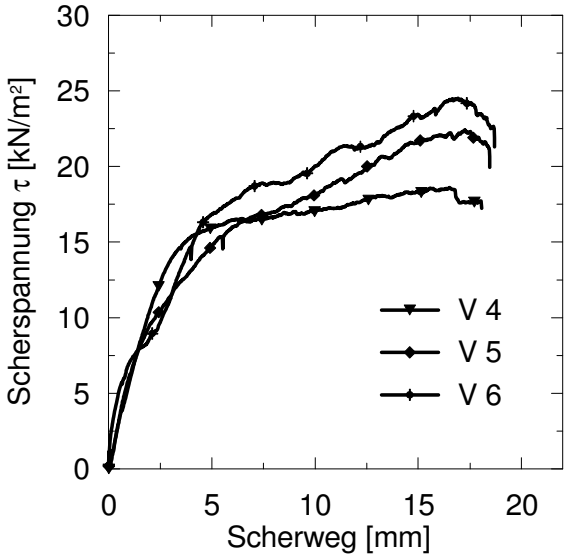
A Ergänzende Darstellung der Versuchsergebnisse

A.1 Rahmenscherversuche

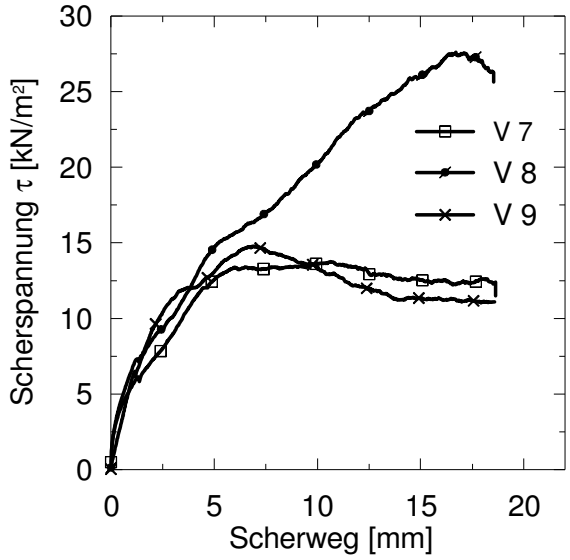
Im Folgenden sind die Ergebnisse aller im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Rahmenscherversuche dargestellt. Die Angaben in den Spalten Vlies- und Kletttypen beziehen sich auf die Bilder 2.4.3 und 4 in Abschnitt 2.4.3.2.

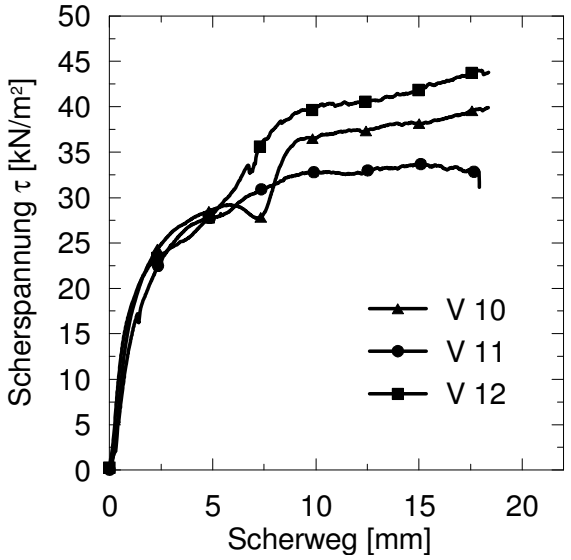
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 1	flauschig	-	35	sauber, nicht gesättigt
V 2	flauschig	Typ 2	35	sauber, nicht gesättigt
V 3	flauschig	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt
V 4	vernadelt	Typ 2	35	sauber, nicht gesättigt
V 5	Loop-Material	Typ 2	35	sauber, nicht gesättigt
V 6	vernadelt	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt



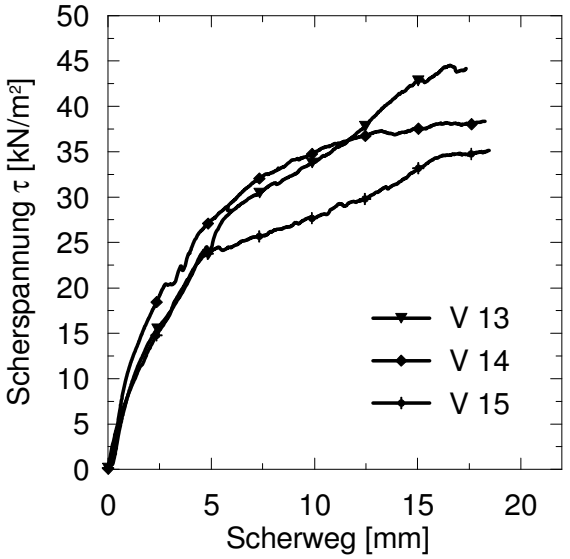


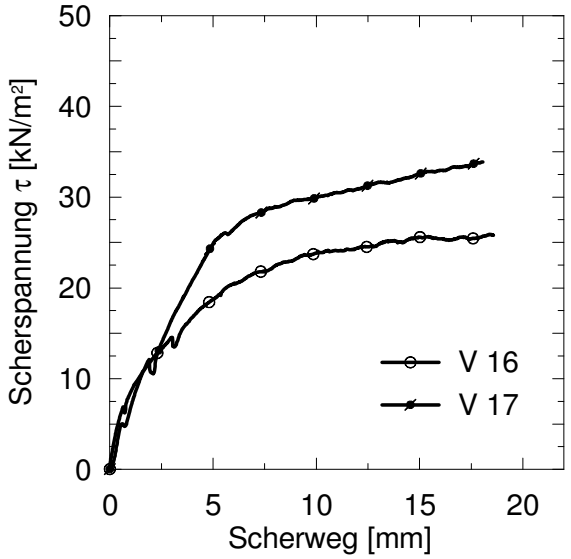
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 7	Loop-Material	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt
V 8	vernadelt	Typ 2	35	sauber, nicht gesättigt
V 9	vernadelt	-	35	sauber, nicht gesättigt
V 10	flauschig	-	70	sauber, nicht gesättigt
V 11	flauschig	Typ 2	70	sauber, nicht gesättigt
V 12	flauschig	Typ 1	70	sauber, nicht gesättigt



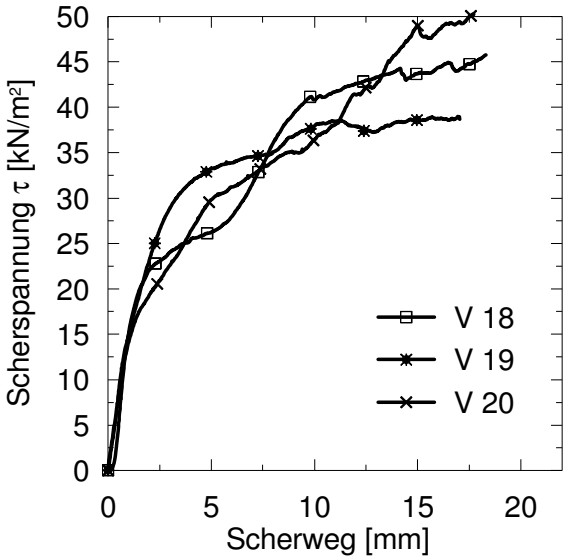


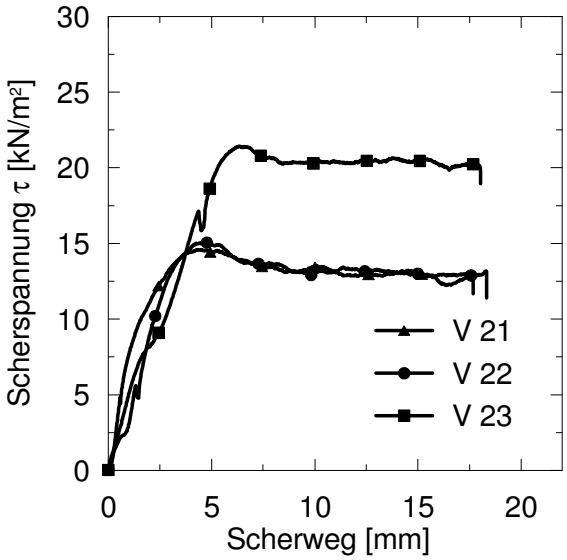
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 13	vernadelt	Typ 2	70	sauber, nicht gesättigt
V 14	Loop-Material	Typ 2	70	sauber, nicht gesättigt
V 15	vernadelt	Typ 1	70	sauber, nicht gesättigt
V 16	Loop-Material	Typ 1	70	sauber, nicht gesättigt
V 17	vernadelt	Typ 1	70	sauber, nicht gesättigt



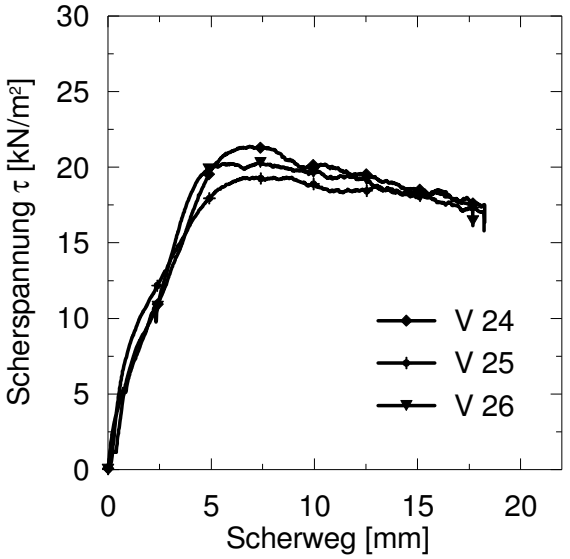


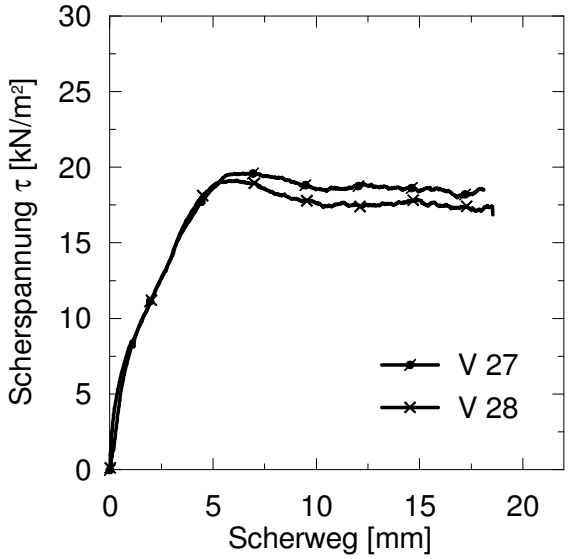
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 18	flauschig	-	70	verunreinigt, nicht gesättigt
V 19	Loop-Material	Typ 2	70	verunreinigt, nicht gesättigt
V 20	vernadelt	-	70	sauber, nicht gesättigt
V 21	Loop-Material	-	35	sauber, nicht gesättigt
V 22	Loop-Material	-	35	verunreinigt, nicht gesättigt
V 23	vernadelt	-	35	verunreinigt, nicht gesättigt



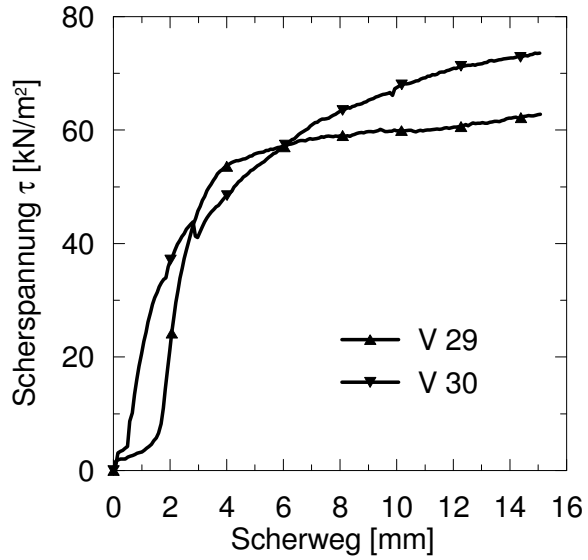


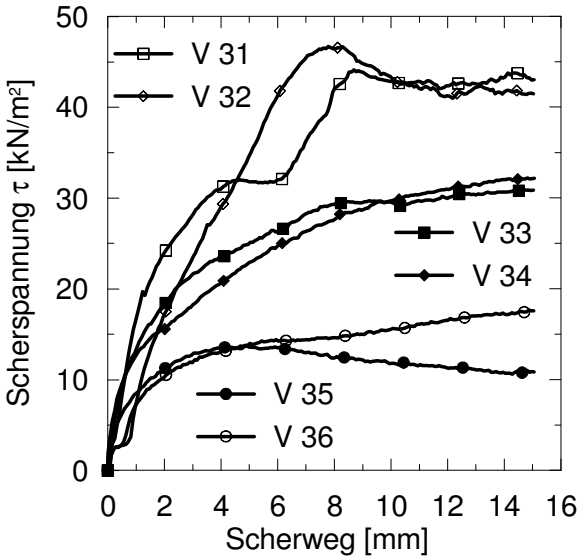
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 24	vernadelt	Typ 2	35	verunreinigt, nicht gesättigt
V 25	Loop-Material	Typ 2	35	verunreinigt, nicht gesättigt
V 26	vernadelt	Typ 1	35	verunreinigt, nicht gesättigt
V 27	Loop-Material	Typ 1	35	verunreinigt, nicht gesättigt
V 28	Loop-Material	Typ 1	35	verunreinigt, nicht gesättigt



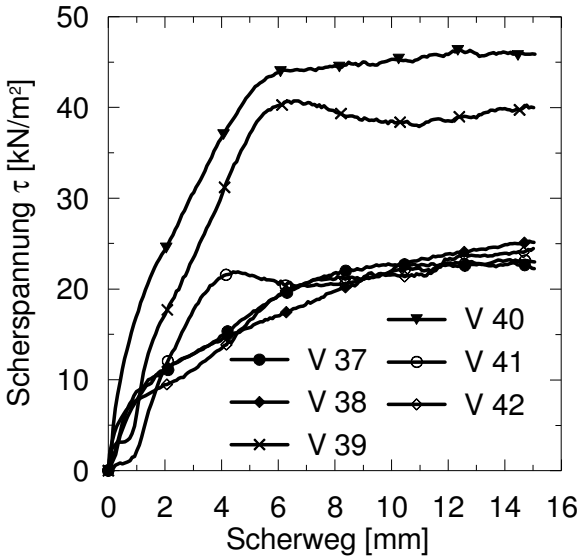


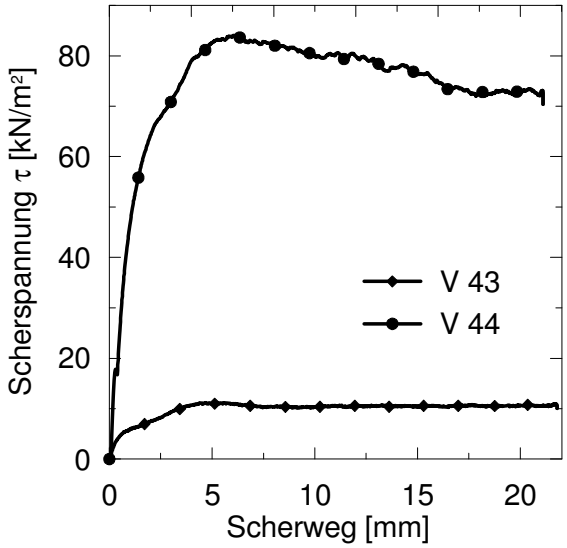
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 29	vernadelt	-	150	sauber, nicht gesättigt
V 30	vernadelt	Typ 2	150	sauber, nicht gesättigt
V 31	vernadelt	-	70	sauber, gesättigt
V 32	vernadelt	Typ 2	70	sauber, gesättigt
V 33	vernadelt	-	70	sauber, gesättigt
V 34	vernadelt	Typ 2	70	sauber, gesättigt
V 35	vernadelt	-	35	sauber, gesättigt
V 36	vernadelt	Typ 2	35	sauber, gesättigt



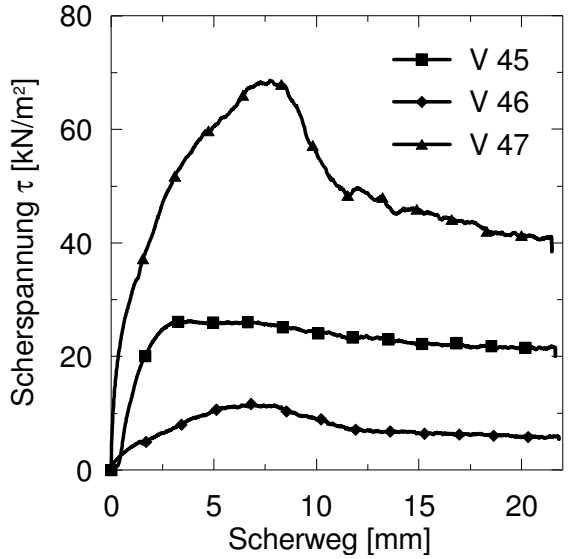


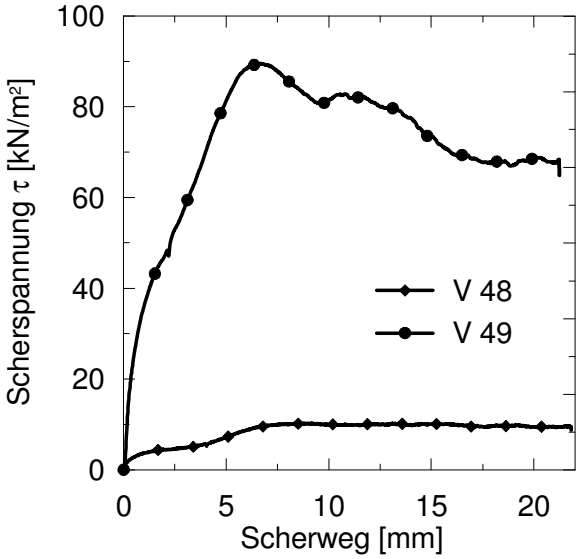
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m²]	Zustand
V 37	vernadelt	-	35	verunreinigt, gesättigt
V 38	vernadelt	Typ 1	35	verunreinigt, gesättigt
V 39	vernadelt	-	70	verunreinigt, gesättigt
V 40	vernadelt	Typ 1	70	verunreinigt, gesättigt
V 41	vernadelt	-	35	verunreinigt, gesättigt
V 42	vernadelt	Typ 1	35	verunreinigt, gesättigt
V 43	vernadelt	Typ 1	17	verunreinigt, nicht gesättigt
V 44	vernadelt	Typ 1	150	verunreinigt, nicht gesättigt



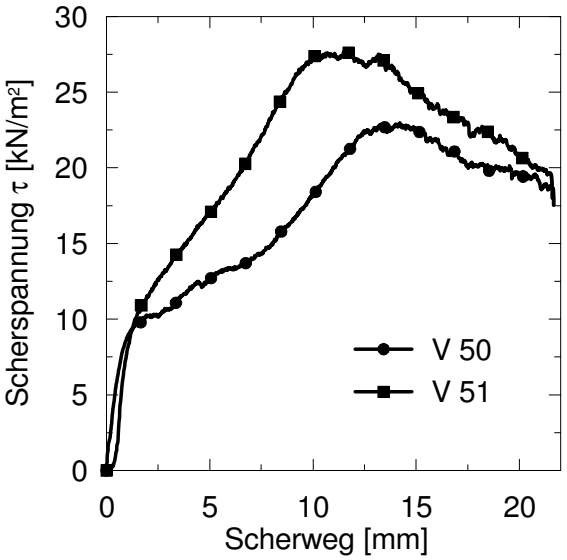


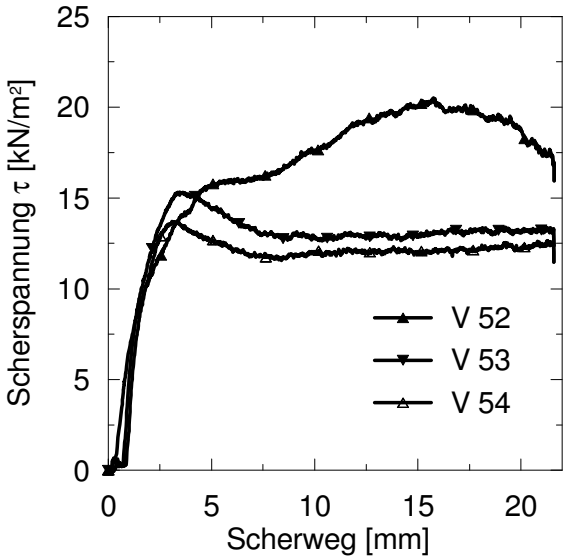
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m²]	Zustand
V 45	vernadelt	Typ 1	70	sauber, gesättigt
V 46	vernadelt	Typ 1	17	sauber, gesättigt
V 47	vernadelt	Typ 1	150	sauber, gesättigt
V 48	vernadelt	Typ 1	17	verunreinigt, gesättigt
V 49	vernadelt	Typ 1	150	verunreinigt, gesättigt



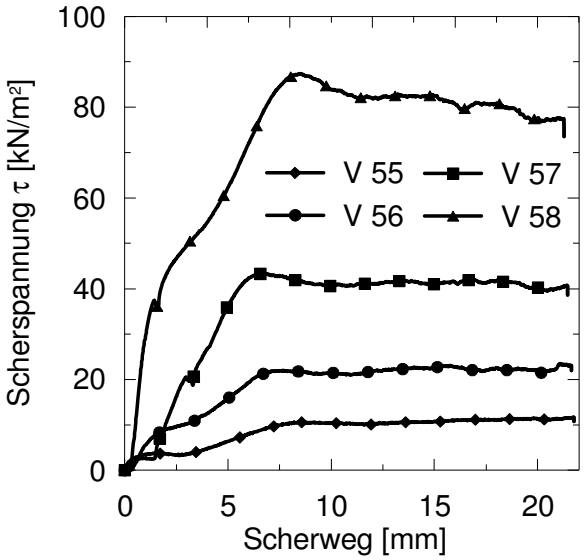


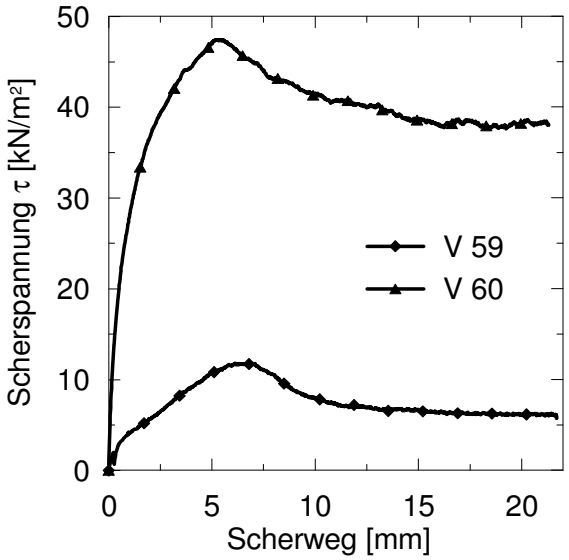
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 50	vernadelt	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt, Klett quer
V 51	vernadelt	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt, Klett quer
V 52	vernadelt	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt, 1. Scherung
V 53	vernadelt	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt, 2. Scherung
V 54	vernadelt	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt, 3. Scherung





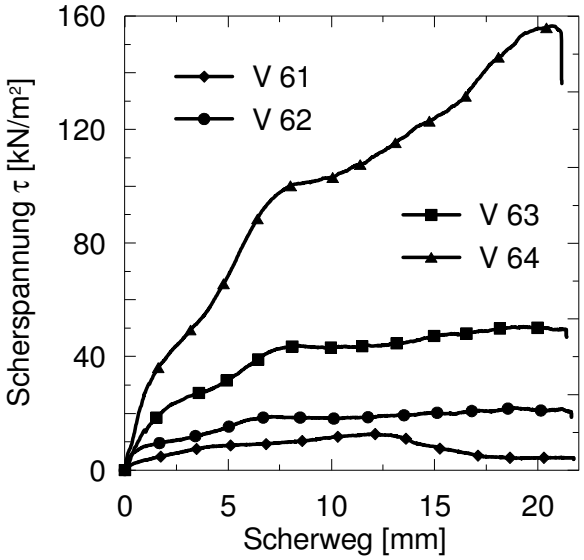
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 55	vernadelt	Typ 1	17	verunreinigt, nicht gesättigt
V 56	vernadelt	Typ 1	35	verunreinigt, nicht gesättigt
V 57	vernadelt	Typ 1	70	verunreinigt, nicht gesättigt
V 58	vernadelt	Typ 1	150	verunreinigt, nicht gesättigt
V 59	vernadelt	Typ 1	17	sauber, gesättigt
V 60	vernadelt	Typ 1	150	sauber, gesättigt

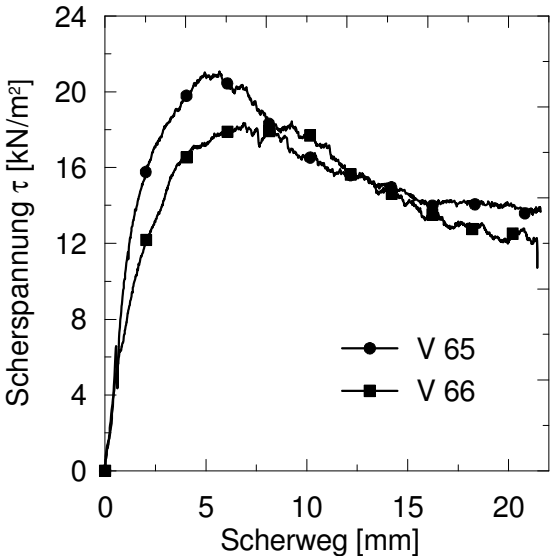




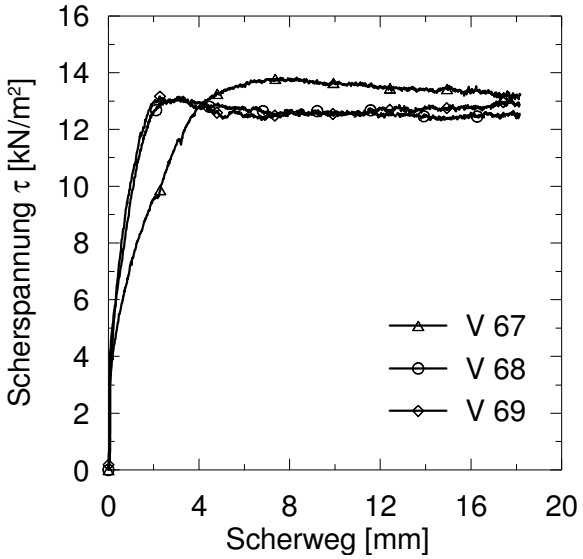
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 61	vernadelt	Typ 1	17	verunreinigt, gesättigt
V 62	vernadelt	Typ 1	35	verunreinigt, gesättigt
V 63	vernadelt	Typ 1	70	verunreinigt, gesättigt
V 64	vernadelt	Typ 1	150	verunreinigt, gesättigt
V 65	Loop-Material	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt
V 66	Loop-Material	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt

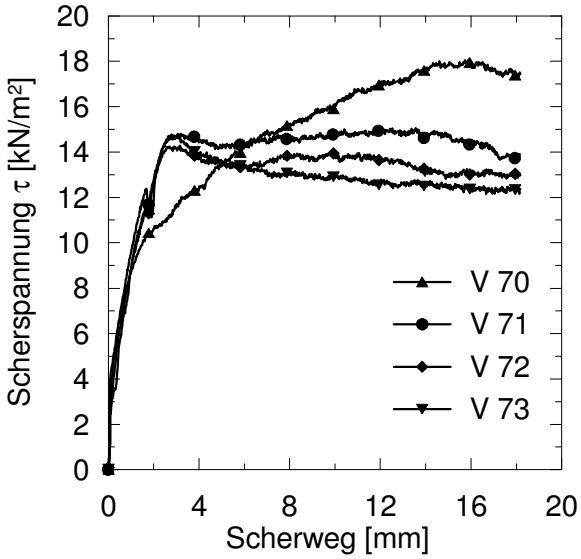
ANMERKUNG: Bei Versuch V 64 löste sich der Vlies vom Distanzkörper. Der Versuch wurde daraufhin nicht bei der Auswertung berücksichtigt.



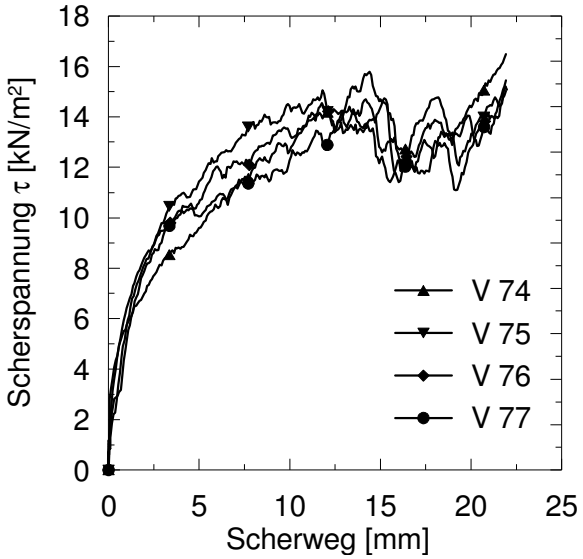


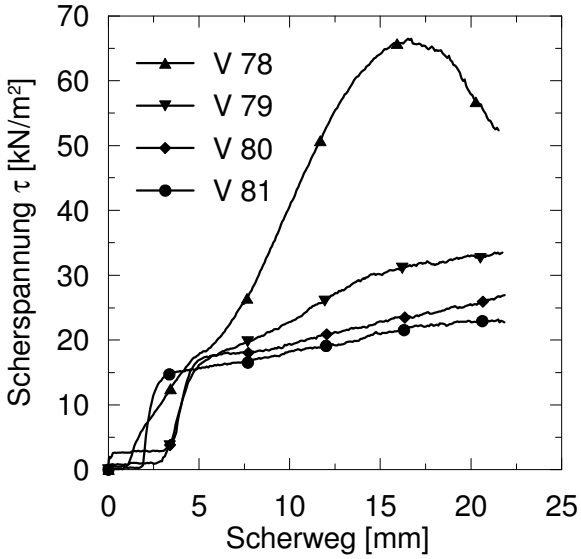
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 67	vernadelt	-	35	sauber, nicht gesättigt, 1. Abscherung
V 68	vernadelt	-	35	sauber, nicht gesättigt, 2. Abscherung
V 69	vernadelt	-	35	sauber, nicht gesättigt, 3. Abscherung
V 70	vernadelt	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt, 1. Abscherung
V 71	vernadelt	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt, 2. Abscherung
V 72	vernadelt	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt, 3. Abscherung
V 73	vernadelt	Typ 1	35	sauber, nicht gesättigt, 4. Abscherung



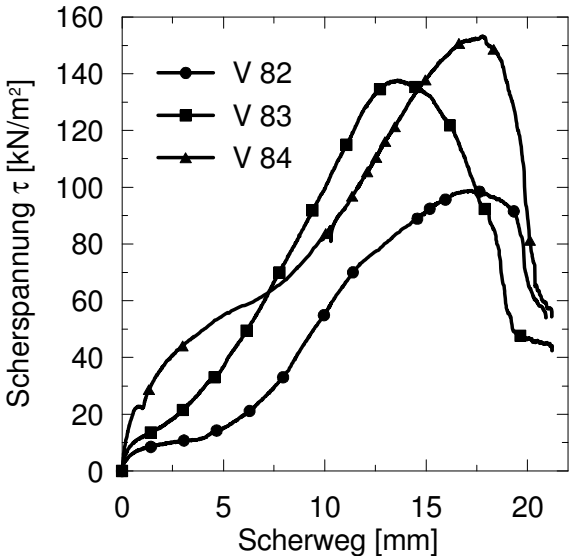


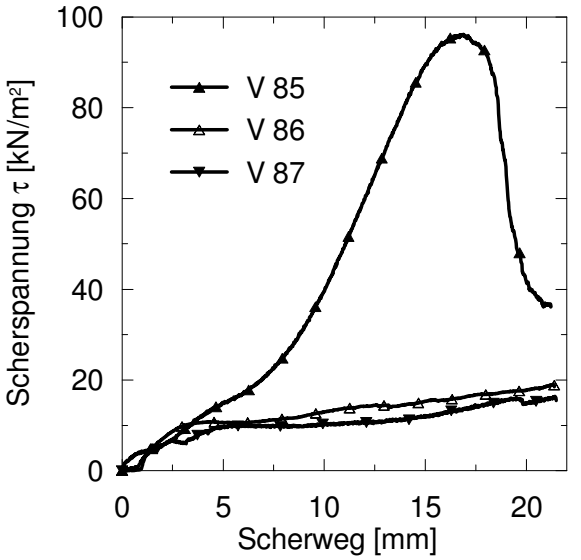
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 74	Vlies mit Gelege	siehe Vliestyp	35	sauber, nicht gesättigt, 1. Abscherung
V 75	Vlies mit Gelege	siehe Vliestyp	35	sauber, nicht gesättigt, 2. Abscherung
V 76	Vlies mit Gelege	siehe Vliestyp	35	sauber, nicht gesättigt, 3. Abscherung
V 77	Vlies mit Gelege	siehe Vliestyp	35	sauber, nicht gesättigt, 4. Abscherung
V 78	vernadelt	Typ 3	35	sauber, nicht gesättigt, 1. Abscherung
V 79	vernadelt	Typ 3	35	sauber, nicht gesättigt, 2. Abscherung
V 80	vernadelt	Typ 3	35	sauber, nicht gesättigt, 3. Abscherung
V 81	vernadelt	Typ 3	35	sauber, nicht gesättigt, 4. Abscherung



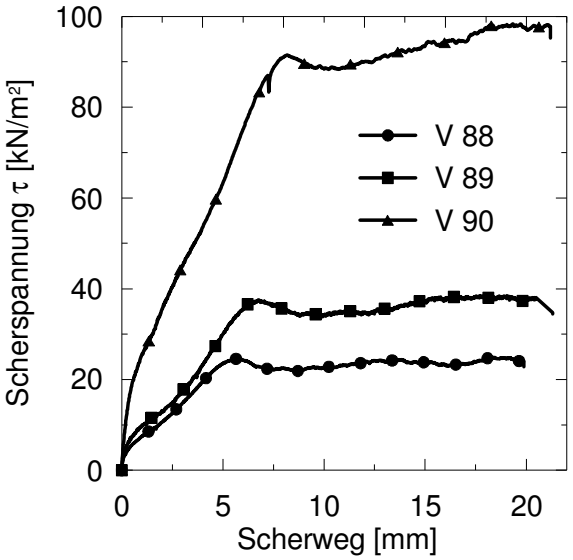


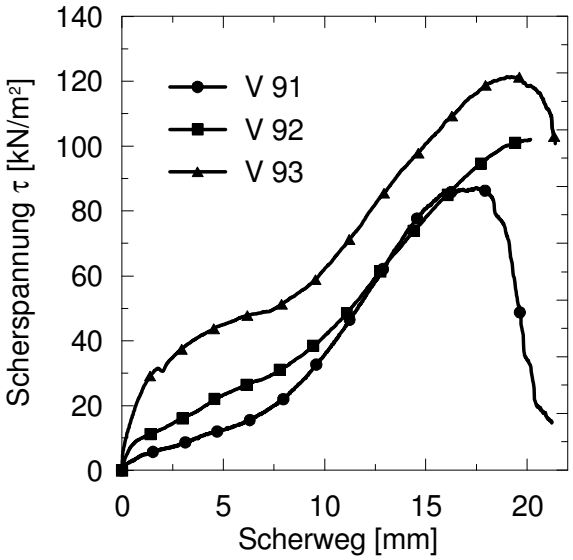
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 82	vernadelt	Typ 3	35	sauber, nicht gesättigt
V 83	vernadelt	Typ 3	70	sauber, nicht gesättigt
V 84	vernadelt	Typ 3	150	sauber, nicht gesättigt
V 85	vernadelt	Typ 3	35	sauber, nicht gesättigt, 1. Abscherung
V 86	vernadelt	Typ 3	35	sauber, nicht gesättigt, 2. Abscherung
V 87	vernadelt	Typ 3	35	sauber, nicht gesättigt, 3. Abscherung



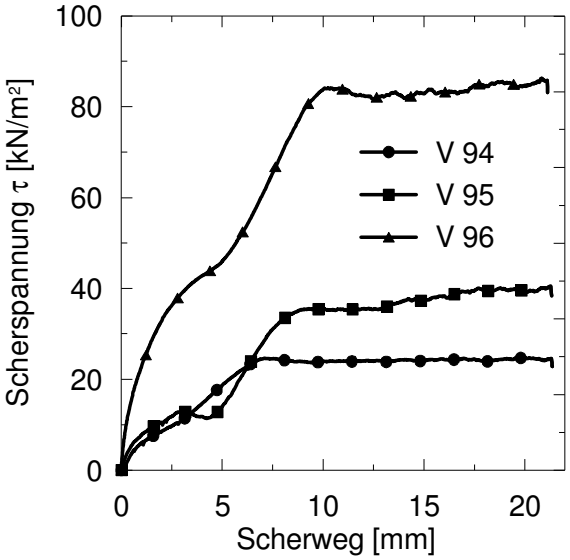


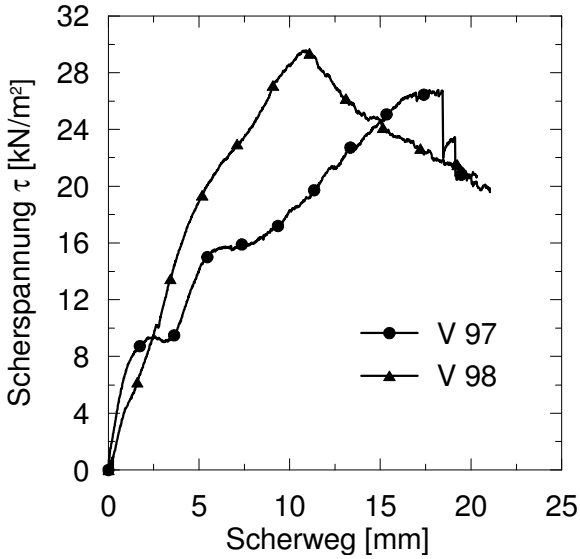
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 88	vernadelt	Typ 3	35	verunreinigt, nicht gesättigt
V 89	vernadelt	Typ 3	70	verunreinigt, nicht gesättigt
V 90	vernadelt	Typ 3	150	verunreinigt, nicht gesättigt
V 91	vernadelt	Typ 3	35	sauber, gesättigt
V 92	vernadelt	Typ 3	70	sauber, gesättigt
V 93	vernadelt	Typ 3	150	sauber, gesättigt



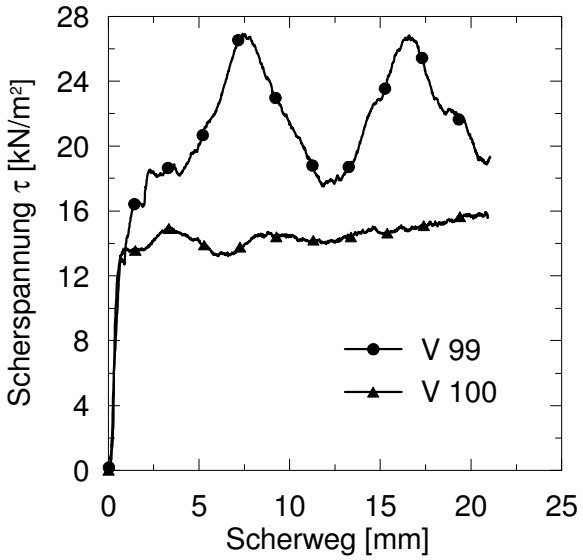


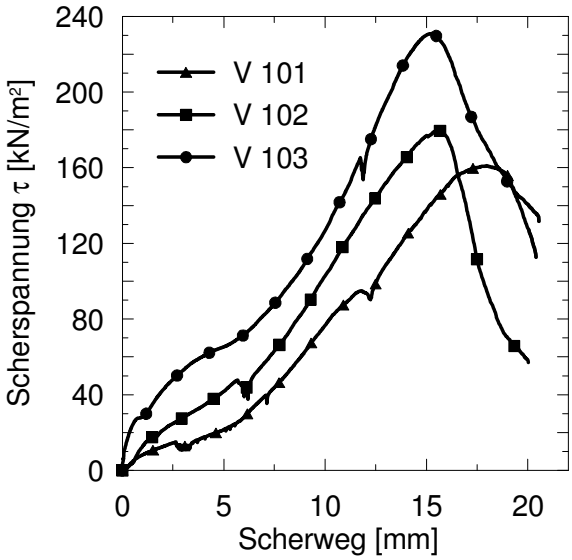
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 94	vernadelt	Typ 3	35	verunreinigt, gesättigt
V 95	vernadelt	Typ 3	70	verunreinigt, gesättigt
V 96	vernadelt	Typ 3	150	verunreinigt, gesättigt
V 97	vernadelt	Typ 4	35	sauber, nicht gesättigt
V 98	vernadelt	Typ 5	35	sauber, nicht gesättigt



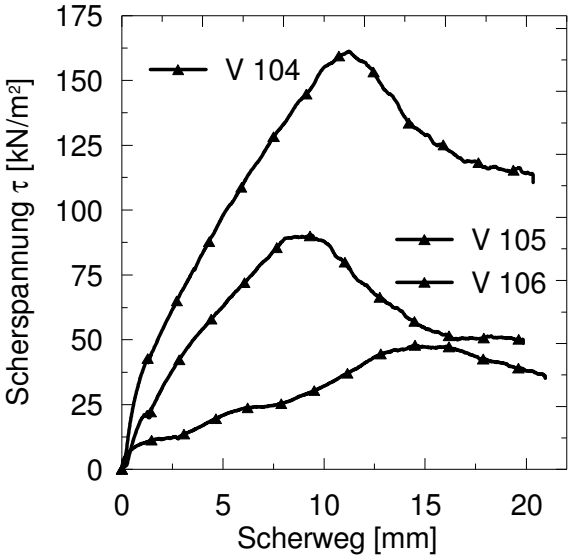


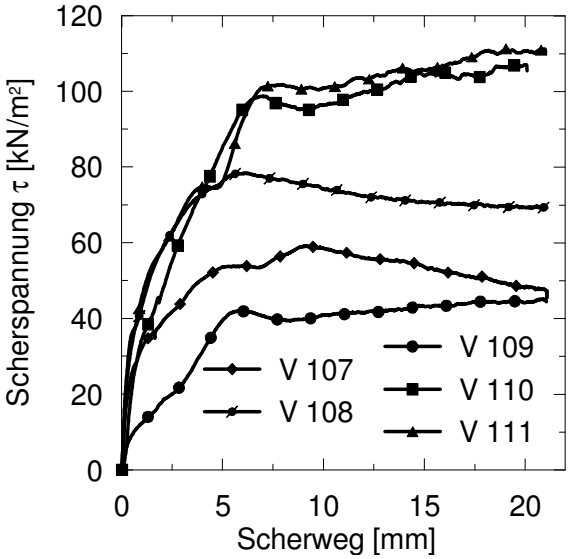
Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 99	Gewebe mit Klettstreifen	siehe Vliestyp	35	sauber, nicht gesättigt
V 100	Gewebe ohne Klettstreifen	siehe Vliestyp	35	sauber, nicht gesättigt
V 101	vernadelt	Typ 6	35	sauber, nicht gesättigt
V 102	vernadelt	Typ 6	70	sauber, nicht gesättigt
V 103	vernadelt	Typ 6	150	sauber, nicht gesättigt





Nr.	Vliestyp	Kletttyp	Spannung σ_N [kN/m^2]	Zustand
V 104	vernadelt	Typ 6	35	verunreinigt, nicht gesättigt
V 105	vernadelt	Typ 6	70	verunreinigt, nicht gesättigt
V 106	vernadelt	Typ 6	150	verunreinigt, nicht gesättigt
V 107	vernadelt	-	150	sauber, nicht gesättigt
V 108	vernadelt	-	150	sauber, gesättigt
V 109	vernadelt	-	70	verunreinigt, nicht gesättigt
V 110	vernadelt	-	150	verunreinigt, nicht gesättigt
V 111	vernadelt	-	150	verunreinigt, gesättigt





A.2 Modellversuch zur Nachbildung einer Stützkonstruktion

Im folgenden sind die Ergebnisse der Verformungsmessungen für den Schnitt 1 und den Schnitt 3 analog zu Schnitt 2 in Abschnitt 2.4.3.3.4 dargestellt.

A.2.1 Schnitt 1

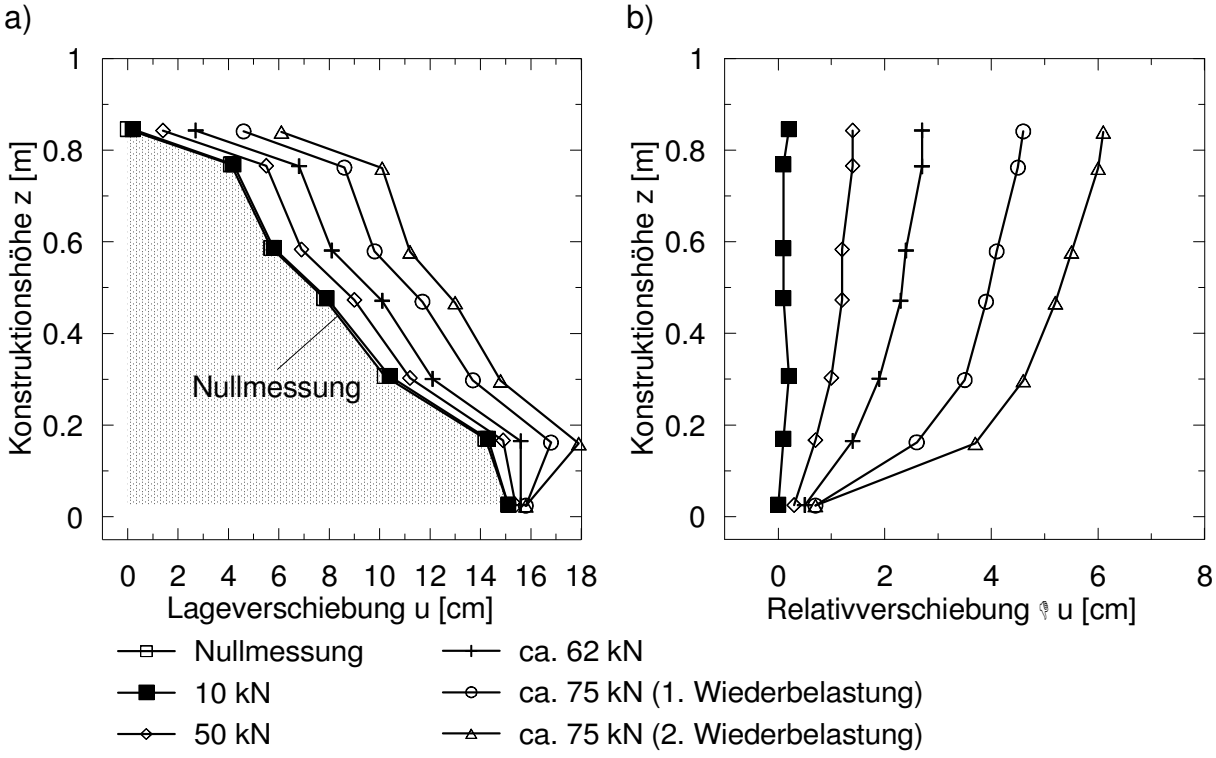


Bild A.1: Lagenweise Verschiebung der Stützkonstruktion bei Modellversuch 1 (Schnitt 1); a) Lageverschiebung *u* über die Konstruktionshöhe *z*; b) Relativverschiebung *Δu* über die Konstruktionshöhe *z*

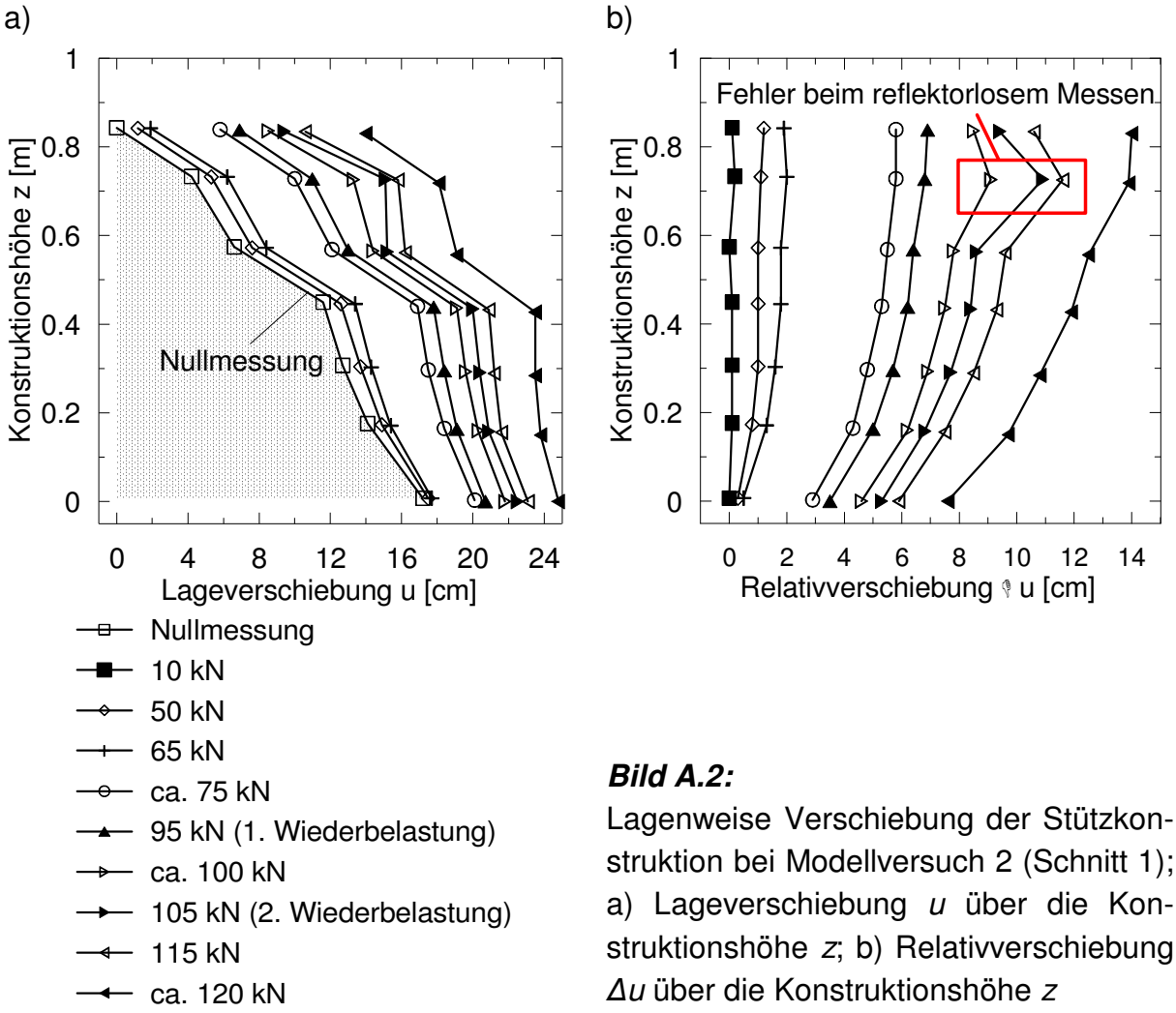


Bild A.2:
Lagenweise Verschiebung der Stützkonstruktion bei Modellversuch 2 (Schnitt 1); a) Lageverschiebung *u* über die Konstruktionshöhe *z*; b) Relativverschiebung *Δu* über die Konstruktionshöhe *z*

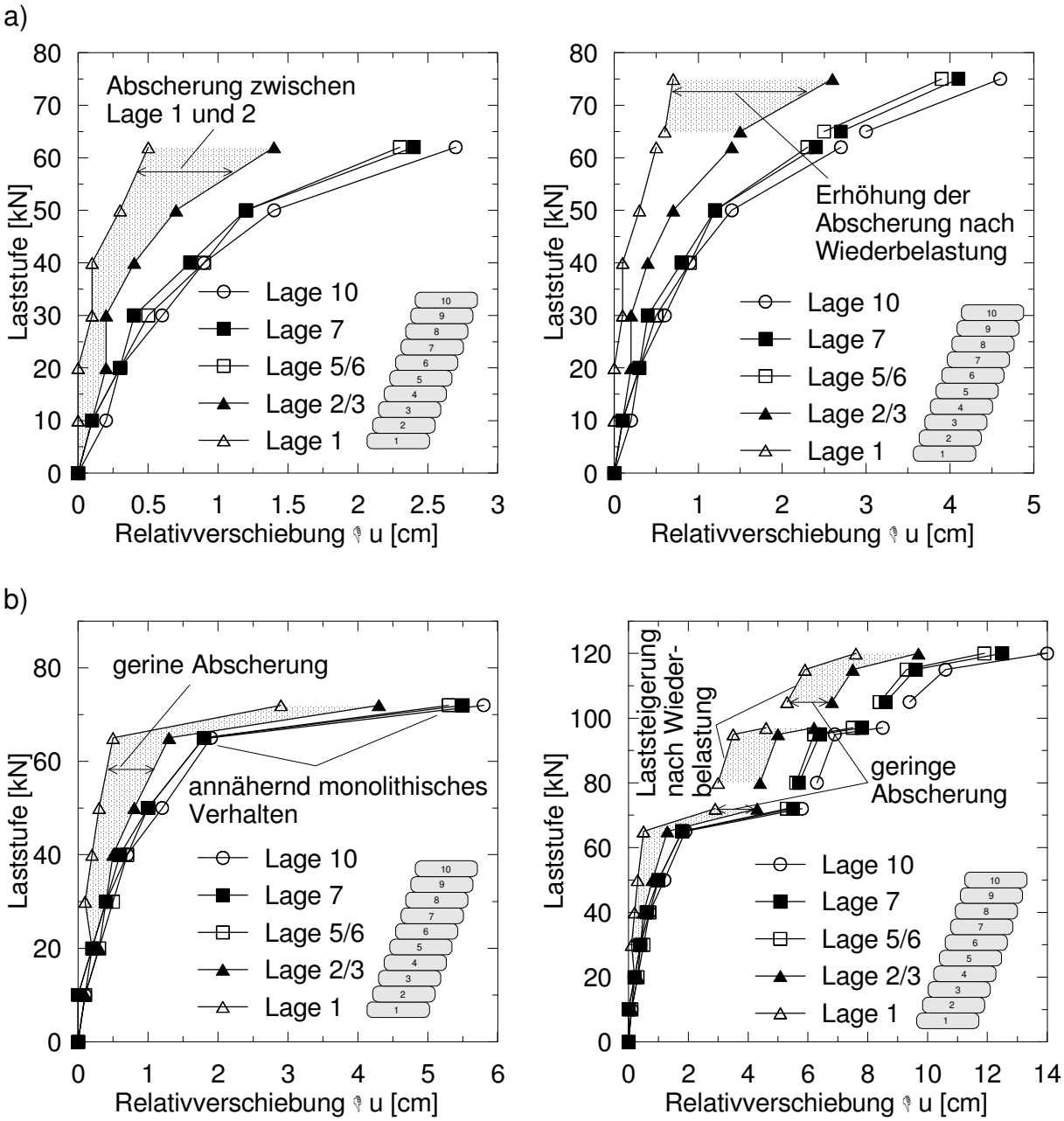


Bild A.3: Relativverschiebung ausgewählter Containerlagen; links jeweils der erste Belastungsvorgang; rechts inkl. Wiederbelastung mit geändertem Maßstab; a) Modellversuch 1 ohne Klettstreifen (Schnitt 1); b) Modellversuch 2 mit Klettstreifen (Schnitt 1)

In den Bildern A.4 und A.5 ist ein Vergleich der Verschiebungen zwischen Schnitt 1 und Schnitt 2 dargestellt. Die Verschiebungen sind annähernd identisch, aus denen sich schlussfolgern lässt, dass Randeinflusse bei diesem Versuch kaum einen Einfluss haben.

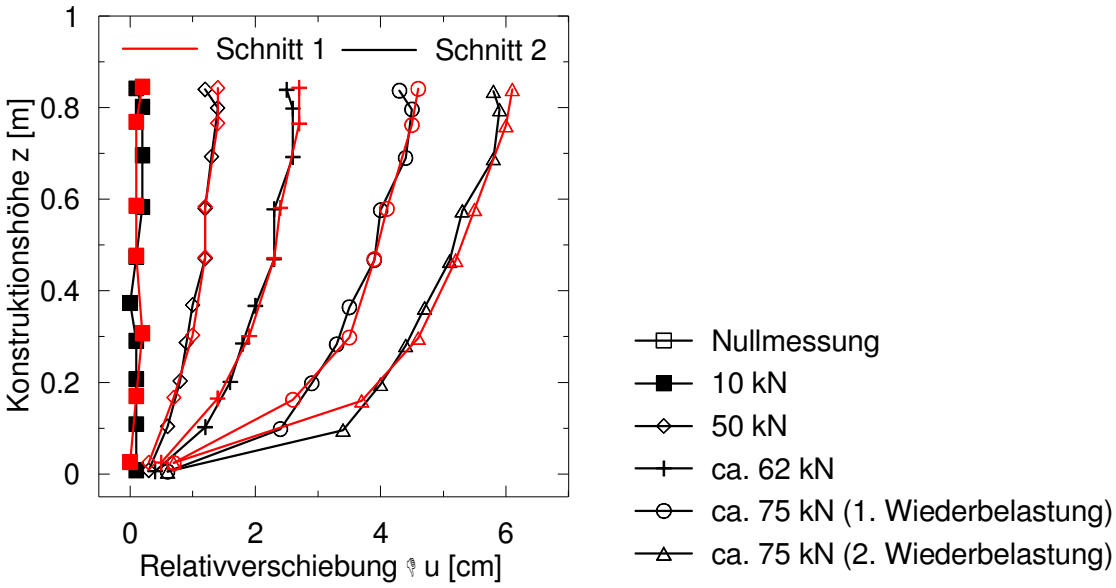


Bild A.4: Vergleich der Relativverschiebung *Δu* über die Konstruktionshöhe *z* für den Schnitt 1 und 2 bei Modellversuch 1 (ohne Klettstreifen)

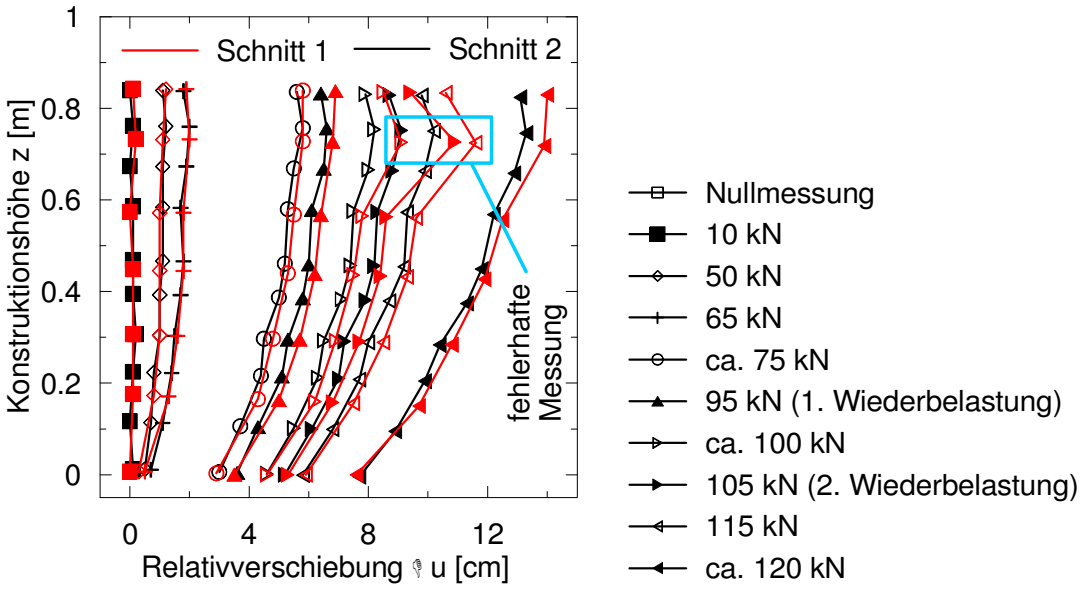


Bild A.5: Vergleich der Relativverschiebung *Δu* über die Konstruktionshöhe *z* für den Schnitt 1 und 2 bei Modellversuch 2 (mit Klettstreifen)

A.2.2 Schnitt 3

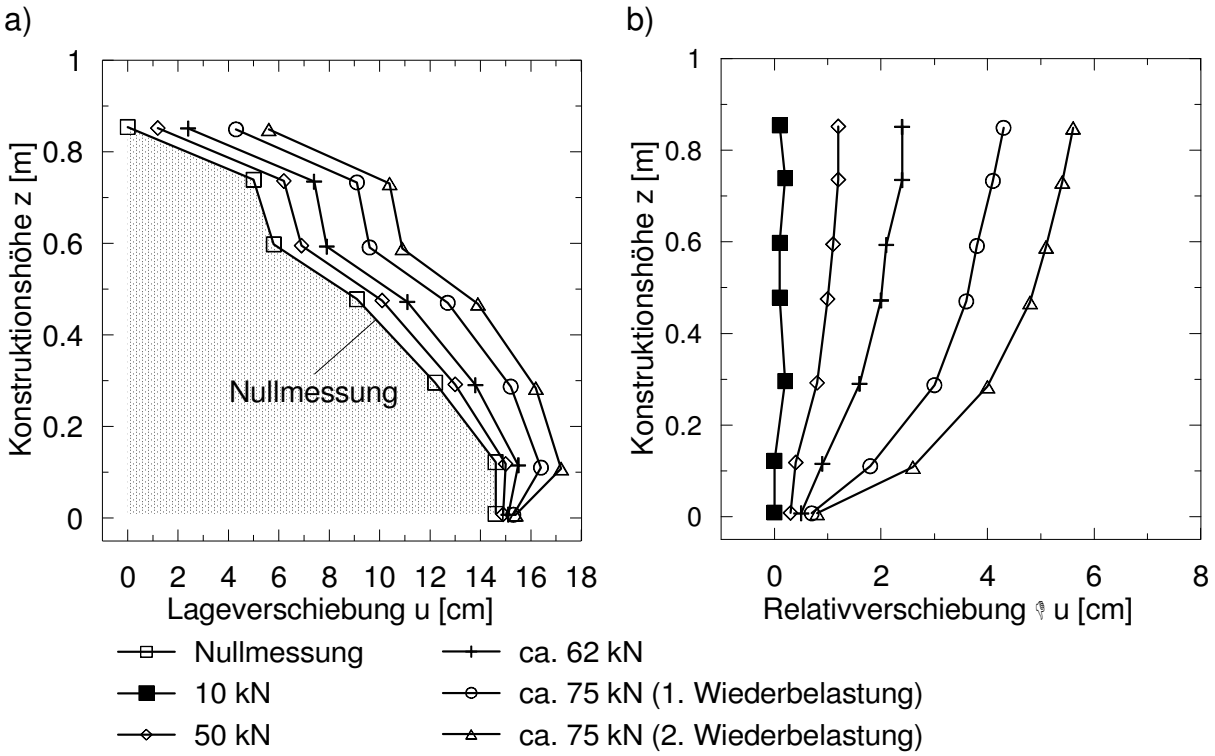


Bild A.6: Lagenweise Verschiebung der Stützkonstruktion bei Modellversuch 1 (Schnitt 3); a) Lageverschiebung *u* über die Konstruktionshöhe *z*; b) Relativverschiebung *Δu* über die Konstruktionshöhe *z*

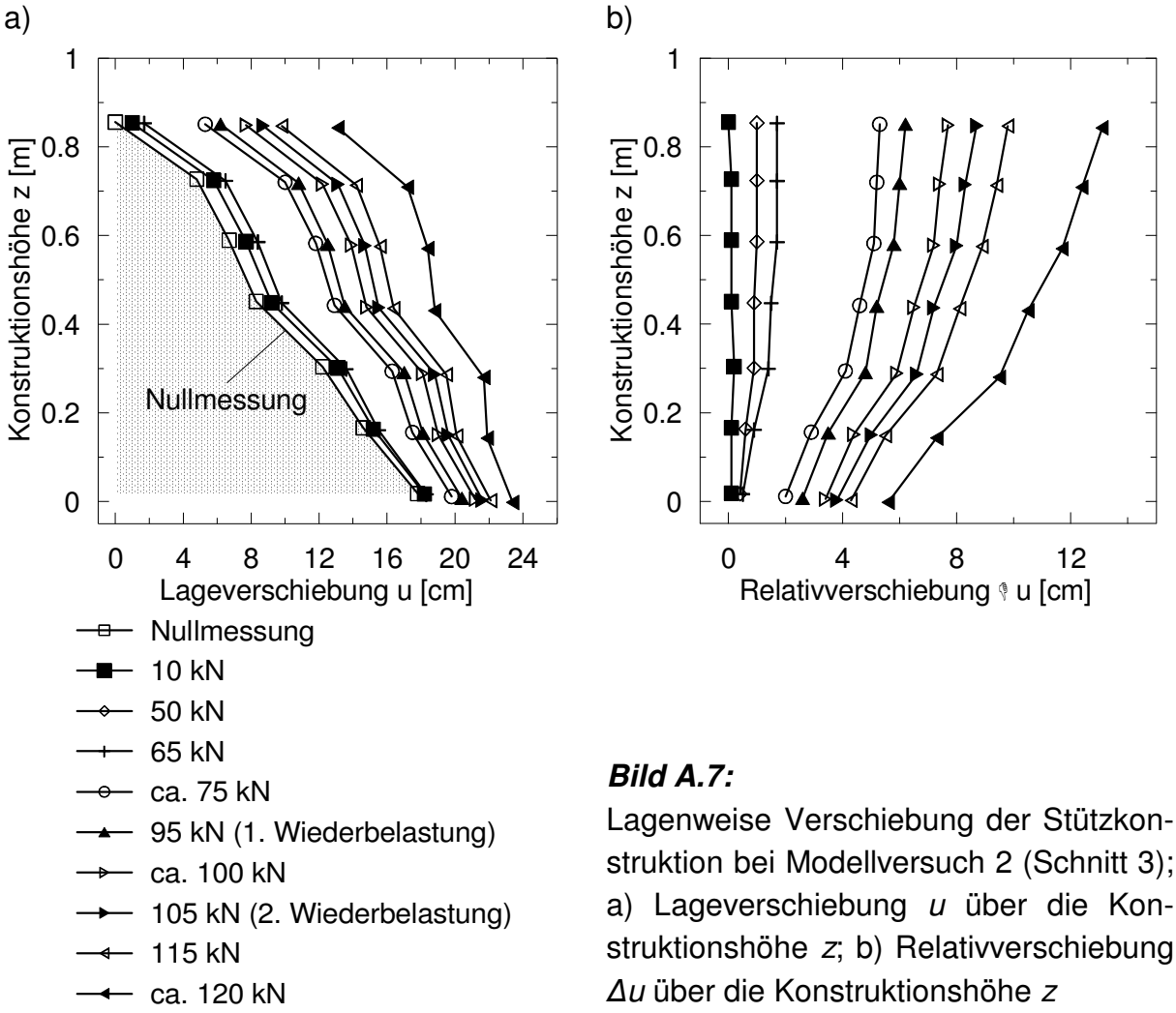


Bild A.7:
Lagenweise Verschiebung der Stützkonstruktion bei Modellversuch 2 (Schnitt 3); a) Lageverschiebung *u* über die Konstruktionshöhe *z*; b) Relativverschiebung *Δu* über die Konstruktionshöhe *z*

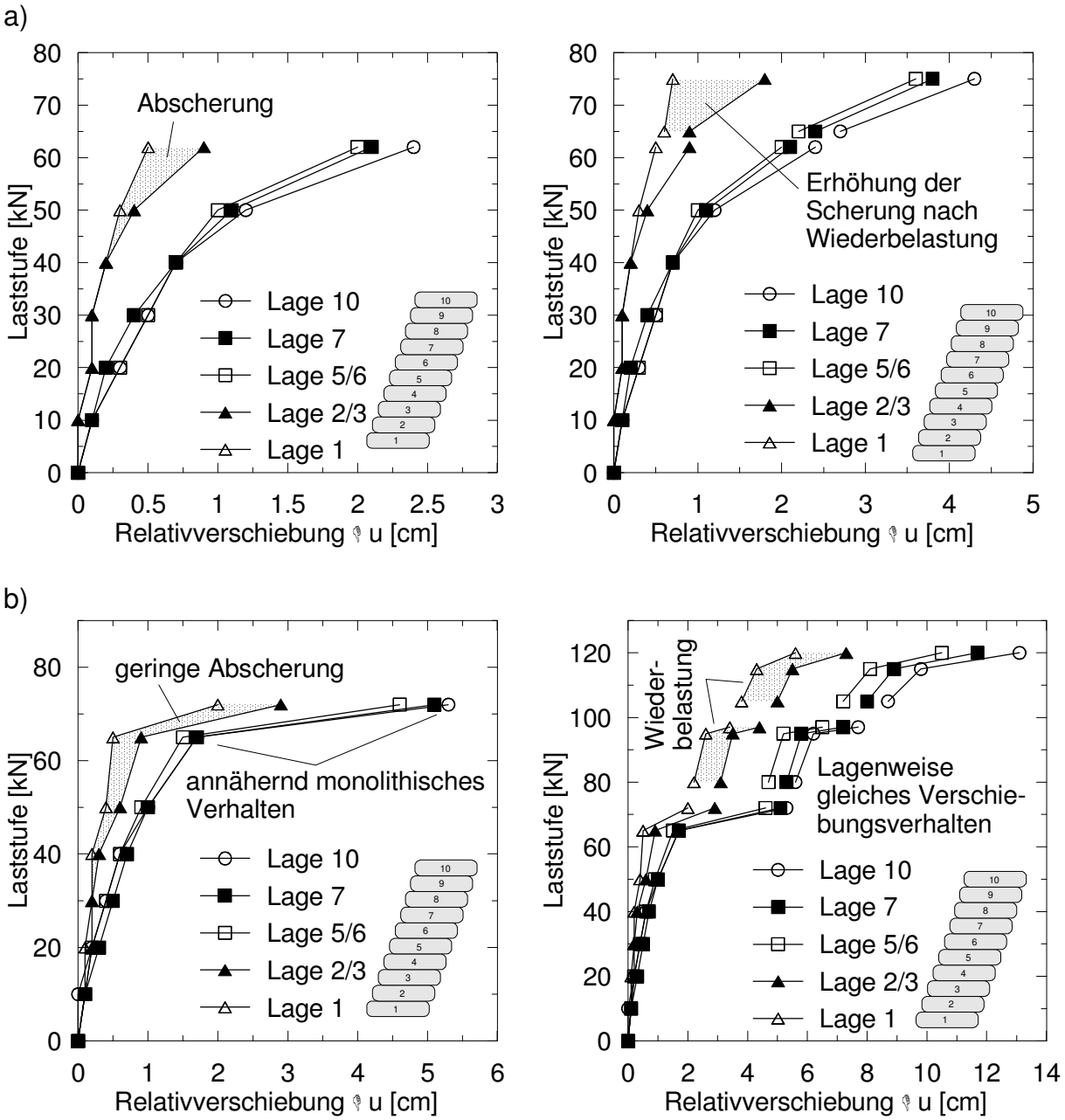


Bild A.8: Relativverschiebung ausgewählter Containerlagen; links jeweils der erste Belastungsvorgang; rechts inkl. Wiederbelastung mit geändertem Maßstab; a) Modellversuch 1 ohne Klettstreifen (Schnitt 3); b) Modellversuch 2 mit Klettstreifen (Schnitt 3)

A.3 Messergebnisse der Feldversuche

A.3.1 Anwendung im Binnenwasserbau

Die Tabellen A.1 bis A.3 zeigen die aufgenommenen Messwerte. Bild A.9 zeigt schematisch die Anordnung der Messpunkte. Die Messwerte wurden nur relativ zueinander ohne bekannten Höhenpunkt aufgezeichnet. Messpunkte, die nicht mehr ausgefüllt worden sind, konnten aufgrund der Verschiebungen nicht mehr eingemessen werden. Der Messpunkt 6 befand sich 15 cm oberhalb der Geländeoberkante.

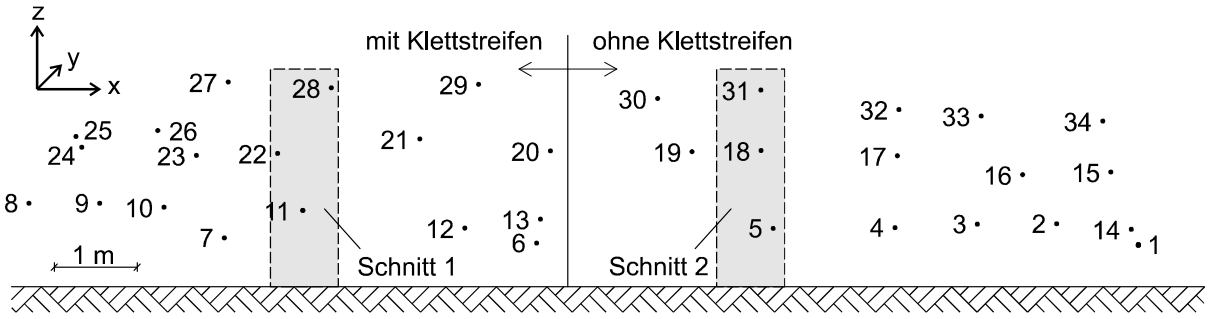


Bild A.9: Schematische Anordnung der Messpunkte in der Frontansicht der Konstruktion

***Tabelle A.1**:* Messwerte der einzelnen Messpunkte für die Nullmessung und der 1. Messung in Metern

Messpunkt	Nullmessung nach Einbau (30.06.2008)			1. Messung (02.07.2008)		
	y	x	z	y	x	z
1	1,000	16,094	-0,142	0,919	16,122	-0,150
2	1,247	14,974	-0,013	1,152	14,993	-0,044
3	1,202	13,896	0,083	1,129	13,902	0,066
4	1,111	12,779	0,131	1,001	12,812	0,115
5	1,039	11,125	0,152	0,927	11,098	0,111
6	0,718	7,918	-0,075	0,600	7,910	-0,089
7	0,629	3,673	-0,080	0,553	3,626	-0,090
8	1,000	1,000	0,172	0,949	0,927	0,077
9	1,036	1,961	0,172	0,959	1,921	0,156
10	1,016	2,836	0,254	0,939	2,801	0,247
11	1,043	4,724	0,182	0,961	4,708	0,160
12	0,886	6,935	0,175	0,775	6,936	0,144
13	1,046	7,958	0,209	0,883	7,923	0,199
14	1,211	15,990	0,148	-	-	-
15	1,979	15,683	0,470	1,891	15,717	0,449
16	1,898	14,487	0,787	1,863	14,544	0,763
17	2,090	12,775	0,812	-	-	-
18	2,092	10,920	0,864	1,966	10,931	0,847
19	2,041	9,982	0,783	1,971	9,978	0,788
20	1,979	8,059	0,805	1,883	8,053	0,779
21	2,075	6,279	0,780	1,962	6,258	0,760
22	1,805	4,353	0,772	1,673	4,326	0,740
23	1,736	3,251	0,631	1,661	3,225	0,609
24	1,789	1,689	0,650	1,717	1,636	0,632
25	1,932	1,605	0,958	1,874	1,574	0,929
26	2,055	2,713	0,896	-	-	-
27	2,751	3,646	1,171	-	-	-
28	2,725	5,049	1,087	2,616	5,029	1,058
29	2,848	7,048	1,089	2,732	7,073	1,063
30	2,746	9,488	1,182	2,636	9,506	1,148
31	2,915	10,887	1,157	2,779	10,898	1,126
32	2,720	12,772	1,164	2,610	12,789	1,121
33	2,674	13,893	1,136	-	-	-
34	2,668	15,549	1,058	-	-	-

***Tabelle A.2**:* Messwerte der einzelnen Messpunkte für die 2. und 3. Messung in Metern

Messpunkt	2. Messung (07.07.2008)			3. Messung (14.07.2008)		
	y	x	z	y	x	z
1	0,916	16,099	-0,139	0,898	16,108	-0,197
2	-	-	-	-	-	-
3	1,123	13,903	0,119	1,130	13,881	0,047
4	0,992	12,793	0,138	-	-	-
5	0,906	11,156	-0,073	0,905	11,134	0,107
6	0,586	7,898	-0,064	-	-	-
7	0,560	3,633	0,130	-	-	-
8	0,958	0,961	0,077	0,964	0,918	0,145
9	-	-	-	-	-	-
10	0,881	2,869	0,260	0,926	2,809	0,227
11	0,934	4,739	0,171	0,918	4,716	0,126
12	0,779	6,927	0,171	-	-	-
13	0,858	7,994	0,207	0,858	7,942	0,167
14	1,164	16,066	0,152	-	-	-
15	1,892	15,718	0,462	1,880	15,721	0,432
16	1,855	14,543	0,757	1,866	14,555	0,716
17	-	-	-	-	-	-
18	1,970	10,926	0,848	1,971	10,910	0,818
19	1,867	9,975	0,774	1,971	9,963	0,759
20	1,960	8,063	0,766	1,879	8,034	0,734
21	1,679	6,247	0,759	-	-	-
22	1,649	4,339	0,744	1,681	4,306	0,701
23	1,729	3,217	0,602	1,662	3,208	0,588
24	1,879	1,634	0,631	-	-	-
25	1,874	1,539	0,918	1,859	1,530	0,879
26	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-
28	2,597	5,041	1,059	2,628	5,015	1,029
29	2,730	7,060	1,062	2,732	7,039	1,029
30	2,600	9,515	1,143	2,622	9,480	1,106
31	2,770	10,898	1,126	2,789	10,890	1,099
32	2,588	12,792	1,123	2,630	12,756	1,067
33	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-

***Tabelle A.3**:* Messwerte der einzelnen Messpunkte für die 4. und 5. Messung in Metern

Messpunkt	4. Messung (25.07.2008)			5. Messung (04.08.2008)		
	y	x	z	y	x	z
1	0,902	16,117	-0,154	0,900	16,121	-0,151
2	-	-	-	-	-	-
3	1,108	13,912	0,027	1,111	13,915	0,029
4	-	-	-	-	-	-
5	0,896	11,133	0,082	0,898	11,129	0,080
6	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
11	0,933	4,690	0,134	0,930	4,971	0,137
12	-	-	-	-	-	-
13	0,858	7,958	0,114	0,861	7,956	0,111
14	-	-	-	-	-	-
15	1,877	15,716	0,414	1,881	15,720	0,416
16	1,832	14,555	0,717	1,829	14,557	0,721
17	-	-	-	-	-	-
18	1,966	10,921	0,815	1,964	10,927	0,816
19	1,944	9,962	0,741	1,941	9,968	0,745
20	1,850	8,035	0,725	1,855	8,031	0,721
21	-	-	-	-	-	-
22	1,657	4,327	0,701	1,661	4,325	0,706
23	1,653	3,219	0,574	1,657	3,224	0,572
24	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-
28	2,619	5,016	1,026	2,623	5,021	1,029
29	2,720	7,051	1,017	2,724	7,054	1,021
30	2,614	9,491	1,099	2,611	9,521	1,095
31	2,761	10,902	1,091	2,763	10,900	1,094
32	2,615	12,749	1,070	2,616	12,747	1,072
33	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-

A.3.2 Anwendung im Küstenschutz

Tabelle A.4 und Bild A.10 zeigen die aufgenommenen Messwerte des Feldversuches und die Lage. Unter der untersten Containerlage wurden zusätzlich Eisenpinnen gelegt und diese ebenfalls messtechnisch erfasst. Zwischen der Nullmessung und der 1. Messung lagen 5 Tage.

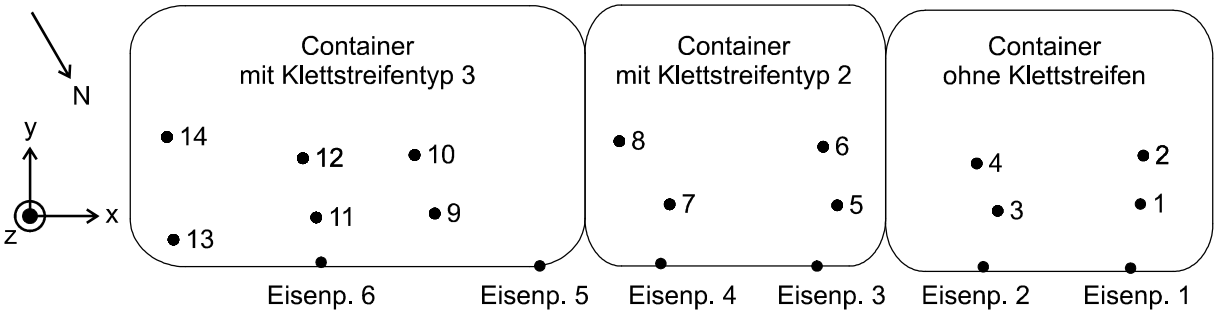


Bild A.10: Schematische Anordnung der Messpunkte in der Draufsicht der Konstruktion

Tabelle A.4: Messwerte der einzelnen Messpunkte für die Nullmessung und 1. Messung

	Nullmessung nach Einbau (14.05.2009)			1. Messung (19.05.2009)		
	y	x	z	y	x	z
1	150,686	149,861	150,215	150,683	149,859	150,210
2	151,342	149,830	150,752	151,334	149,832	150,746
3	150,613	151,801	150,104	150,611	151,799	150,100
4	151,255	152,056	150,693	151,240	152,054	150,681
Eisenp. 1	150,000	150,000	149,802	150,000	149,999	149,800
Eisenp. 2	149,923	151,992	149,728	149,921	151,990	149,727
5	150,692	153,930	150,253	150,688	153,928	150,246
6	151,484	154,140	150,709	151,478	154,142	150,702
7	150,725	156,208	150,180	150,719	156,208	150,174
8	151,579	156,879	150,651	151,567	156,878	150,641
Eisenp. 3	149,896	154,229	149,629	149,893	154,228	149,629
Eisenp. 4	149,956	156,332	149,640	149,953	156,330	149,640
9	150,585	159,388	149,857	150,580	159,385	149,854
10	151,353	159,652	150,516	151,342	159,646	150,507
11	150,526	160,985	149,918	150,518	160,982	149,913
12	151,323	161,160	150,544	151,314	161,157	150,537
13	150,240	162,889	150,056	150,237	162,886	150,053
14	151,593	162,974	150,828	151,587	162,975	150,820
Eisenp. 5	149,894	157,990	149,618	149,892	157,989	149,616
Eisenp. 6	150,000	160,915	149,448	149,996	160,916	149,446

A.3.3 Anwendung im Erdbau

In den Tabellen A.5 und A.6 sowie Bild A.11 sind die aufgenommenen Messwerte des Feldversuches dargestellt. Die Messwerte wurden nur relativ zueinander ohne bekannten Höhenpunkt aufgezeichnet. Zwischen der Nullmessung und der 1. Messung lagen 28 Tage. Die weiteren Messungen wurden an einem Tag durchgeführt. Der Messpunkt 20 befand sich 37 cm über der Geländeoberkante.

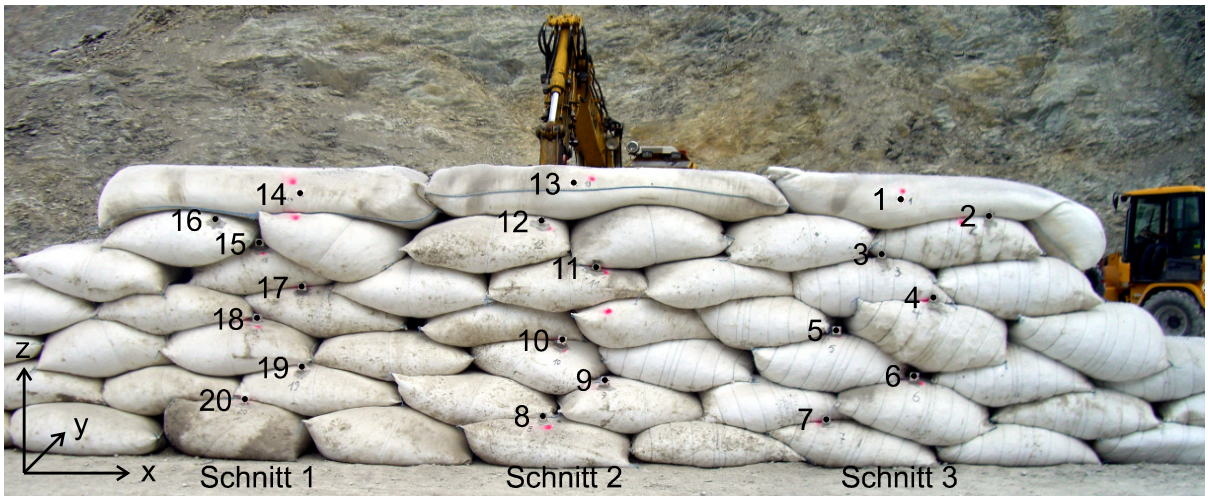


Bild A.11: Anordnung der Messpunkte in der Frontansicht

***Tabelle A.5**:* Messwerte der einzelnen Messpunkte für die Nullmessung und der Messung vor der 1. Belastung in Metern

Messpunkt	Nullmessung nach Einbau (20.05.2009)			1. Messung vor 1. Belastung (17.07.2009)		
	y	x	z	y	x	z
1	-0,014	4,788	100,504	-0,017	4,803	100,461
2	0,000	5,421	100,384	0,000	5,434	100,336
3	0,056	4,673	100,094	0,056	4,685	100,058
4	-0,041	5,020	99,773	-0,037	5,028	99,726
5	0,072	4,363	99,523	0,081	4,370	99,502
6	-0,010	4,904	99,183	-0,003	4,911	99,159
7	-0,028	4,289	98,863	-0,023	4,291	98,853
8	-0,056	2,319	98,874	-0,048	2,322	98,862
9	0,062	2,746	99,138	0,066	2,748	99,127
10	0,145	2,440	99,435	0,149	2,442	99,424
11	-0,010	2,679	99,985	-0,005	2,681	99,964
12	0,055	2,296	100,329	0,055	2,298	100,301
13	0,046	2,519	100,612	0,037	2,522	100,567
14	-0,020	0,616	100,527	-0,027	0,617	100,494
15	0,130	0,282	100,157	0,128	0,284	100,144
16	0,000	0,000	100,334	0,000	0,000	100,309
17	0,171	0,581	99,823	0,173	0,583	99,811
18	0,107	0,271	99,582	0,109	0,272	99,573
19	0,020	0,612	99,219	0,023	0,615	99,210
20	-0,099	0,234	98,978	-0,097	0,236	98,972

***Tabelle A.6**:* Messwerte der einzelnen Messpunkte für die Messung nach der 1. und 2. Belastung in Metern

Messpunkt	2. Messung nach 1. Belastung (17.07.2009)			3. Messung nach 2. Belastung (17.07.2009)		
	y	x	z	y	x	z
1	-0,099	4,824	100,436	-0,146	4,861	100,398
2	-0,048	5,442	100,327	-0,070	5,470	100,301
3	-0,002	4,681	100,036	-0,016	4,695	100,009
4	-0,078	5,025	99,715	-0,085	5,039	99,693
5	0,041	4,361	99,490	0,046	4,374	99,474
6	-0,033	4,905	99,154	-0,026	4,918	99,141
7	-0,053	4,279	98,854	-0,041	4,291	98,844
8	-0,073	2,310	98,869	-0,057	2,321	98,862
9	0,039	2,737	99,126	0,051	2,748	99,117
10	0,117	2,428	99,420	0,126	2,439	99,409
11	-0,054	2,668	99,947	-0,061	2,674	99,921
12	-0,012	2,286	100,278	-0,034	2,294	100,244
13	-0,049	2,509	100,541	-0,083	2,516	100,506
14	-0,092	0,603	100,478	-0,107	0,596	100,457
15	0,090	0,270	100,140	0,097	0,274	100,127
16	-0,045	-0,017	100,298	-0,039	-0,011	100,282
17	0,140	0,570	99,810	0,150	0,577	99,798
18	0,080	0,258	99,573	0,093	0,266	99,562
19	-0,002	0,604	99,213	0,013	0,613	99,204
20	-0,120	0,225	98,979	-0,102	0,234	98,972

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht

3. Titel
Verbundprojekt **„Innovative stapelsichere geotextile Container“**

4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.5.2009
Monika Seeger, Reinhard Helbig (STFI e.V.) in Zusammenarbeit mit Henning Dageförde (Colcrete-von Essen GmbH & Co. KG); Siegmund Schlie (Heinrich Hirdes GmbH); Markus Hempel (WITTFELD GmbH); Hans-Georg Kempfert, Jan Lüking (Universität Kassel, Fachgebiet Geotechnik); Henning Ehrenberg (NAUE GmbH Co. KG); Katja Werth (BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG); Stefan Eichler, Ralph Meurers (E&M Eichler und Meurers Industrietechnik GmbH; Carmen Uhlmann (Flexitex GmbH)	6. Veröffentlichungsdatum 30.11.2009
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Projektmanagement für das Verbundprojekt und den Abschlussbericht Sächsisches Textilforschungsinstitut e. V. an der Technischen Universität Chemnitz Annaberger Straße 240 09125 Chemnitz Tel (0371) 52 74 – 0, Fax (0371) 52 74 – 153, E-Mail: stfi@stfi.de in Zusammenarbeit mit den o.g. Partnern	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 01 RI 05251 bis 8
	11. Seitenzahl 185
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 60
	14. Tabellen 27
	15. Abbildungen 157

16. Zusätzliche Angaben

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)

18. Kurzfassung

Trotz ihres großen Innovationspotenzials werden geotextile Container im Erd- und Wasserbau bislang nur begrenzt eingesetzt (stark begrenzte Stapelfähigkeit infolge glatter Oberfläche; ungenügende Lagestabilität).

Ziel war, diesen Nachteil zu beseitigen, indem die wissenschaftlich-technischen Grundlagen sowie Prinziplösungen für innovative Geotextilien mit klettenden Eigenschaften geschaffen werden (Prinzip „Klettverschluss“, d.h. bereits bei der Herstellung Kombination eines flauschigen Elements (z.B. Vliesstoff) mit aus Mikroklettfolie geschnittenen „Klettfäden“). In die Untersuchungen einbezogen wurden folgende textile Gebiete: Wirk-/Nähwirktechnik mit Vliesstoffzuführung, Rundweben, Vliesstoffentwicklung, Konfektionstechnik. Wesentlicher Bestandteil der Forschungsaufgabe waren Arbeiten auf dem Gebiet Geotechnik/Bauindustrie (Erd-, Verkehrswege- und Wasserbau mit und ohne Tideeinfluss, FEM-Analyse, Modellbildung).

Es wurden mehrere Prinziplösungen für innovative Geotextilien mit klettenden Eigenschaften in ersten Praxistests untersucht. Labor- und kleinmaßstäbliche Untersuchungen ergaben, dass Klettstreifen signifikant zur Erhöhung der Tragfähigkeit beitragen. Der Klettstreifentyp hat einen deutlichen Einfluss. Mehrmaliges Verhaken der Klettstreifen mit der Vliesstoffoberfläche führt zu Tragfähigkeitsverlust. In den Bereichen Binnenwasserbau, Küstenschutz und Erdbau wurden Feldversuche durchgeführt. Befüllen und Vernähen der Container erfolgten problemlos. Die Praxistauglichkeit der Container mit Klettstreifen muss jedoch noch verbessert werden, um die Wirksamkeit des Klettstreifens auch im Feldtest eindeutig nachzuweisen. Auf Grund der positiven Erfahrungen in den Modellversuchen wird erwartet, dass kleinere Container mit Klettstreifen als Sofortmaßnahmen im Katastrophenfall (z. B. als Hochwasserschutz) erfolgreich angewendet werden können.

19. Schlagwörter
Geotextil, Geocontainer, geotextiler Container, Verkletten, Klettstreifen Klettverschluss, Haftwirkung, Vliesstoff, Wirken, Rundweben, Nähwirken, Konfektion, Zuschnitt, Wasserbau, Erdbau, Verkehrswegebau, Damm, Deich, Stabilität, Feldtest, Scherversuch, FEM-Analyse, Modellbildung, Hochwasserschutz, Sandsack

20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report

3. title

„Innovative stackable geotextile containers“

4. author(s) (family name, first name(s))	5. end of project
Seeger, Monika, Helbig, Reinhard (STFI e.V.) in collaboration withf Henning Dageförde (Colcrete-von Essen GmbH & Co. KG); Siegmund Schlie (Heinrich Hirdes GmbH); Markus Hempel (WITTFELD); Hans-Georg Kempfert, Jan Lüking (Universität Kassel);); Henning Ehrenberg (Naue GmbH Co. KG); Katja Werth (BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG); Stefan Eichler, Ralph Meurers (E&M Eichler und Meurers Industrietechnik GmbH; Carmen Uhlmann (Flexitex GmbH)	31.5.2009 6. publication date 30.11.2009 7. form of publication final report
8. performing organization(s) (name, address) Project management for the joint project and the final report by Sächsisches Textilforschungsinstitut e. V. an der Technischen Universität Chemnitz Annaberger Straße 240 09125 Chemnitz Tel (0371) 52 74 – 0, Fax (0371) 52 74 – 153, E-Mail: stfi@stfi.de with the collaboration of all partners	9. originator’s report no. 10. reference no. 01 RI 05251 - 8 11. no. of pages 185
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 60 14. no. of tables 27 15. no. of figures 157
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	

18. abstract

Inspite of their great innovative potential, up to now the usage of geotextile containers has been limited in civil and hydraulic engineering applications. This is due to their smooth and slippery surface causing restrictions in stacking ability and positional stability. Aim of the project was to eliminate these disadvantages by developing a scientific and technical basis and principal solutions for innovative geotextiles. The idea was to use the principle of Velcro fasteners and integrating both parts of the closure already during the manufacturing process.

In the frame of the project investigations were carried out into several textile manufacturing processes and materials such as circular weaving, warp knitting and stitch bonding technologies in combination with feeding especially developed nonwoven materials of a great variety and of different characteristics. There were investigations carried out into cutting, processing and making up the novel material into big sandbags.

Tests were performed on laboratory and technical scales as well as field tests in geotechnical applications (earthwork, hydraulic engineering with and without tidal influences). An essential part of research was the scientific analysis of these tests by means of FEM analysis and modelling.

The principle solution of the textile material for the novel containers consists of combination of a nonwoven material as a brushed loop element and narrow tapes (“threads”) made of a Velcro material (for instance Microplast® film). As the lab tests and tests on a technical scale proved, the Velcro material contributes significantly to the increase of the load bearing capacity. This depends considerably on the characteristics of the Velcro type used. For a repeated usage of the Velcro closure in combination with the surface of the nonwoven a decrease of the load bearing capacity was noticed.

The field tests proved that filling and sewing on the building sites did not cause any difficulties. However, it is necessary to improve the practical suitability of the Velcro closure and to provide unequivocal proof of its functionality in the field test as well.

According to the positive results in lab and technical scale tests it is expected that smaller sized geotextile containers with integrated Velcro closures can be successfully applied as an emergency measure in disaster situations (e.g. flood protection).

19. keywords: GEOTEXTILE; CONTAINER; INSTALLATION; FIELD TEST, NONWOVEN; VELCRO TAPE; DAM; DYKE; STABILITY; WARP KNITTING; STITCH BONDING;CIRCULAR WEAVING LOOM; MAKING UP, FEM ANALYSIS; FLOOD PROTECTION; MODELLING

20. publisher	21. price